ORGANIZADOR
Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
INNOVATE:
ENGENHARIA SANITÁRIA
E AMBIENTAL
Atena
Editora
Ano 2023

ORGANIZADOR
Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
INNOVATE:
ENGENHARIA SANITÁRIA
E AMBIENTAL
Atena
Editora
Ano 2023

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA E ENGENHARIAS

Innovate: Engenharia sanitária e ambiental

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Soellen de Britto
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

I58 Innovate: Engenharia sanitária e ambiental / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2023.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-258-1344-8
DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.448231505

1. Engenharia sanitária e ambiental. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.

CDD 628

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

O e-book: “Innovate: Engenharia Sanitária e Ambiental” é constituído por oito capítulos de livros que investigaram os seguintes temas: *i*) humanização no processo de cobrança de pessoas físicas e jurídicas durante a pandemia do Covid-19; *ii*) caracterização, gestão e preservação de nascentes e bacias hidrográficas localizadas no estado do Acre (AC) e do Amazonas (AM) e o transtorno gerado pela inundação na cidade de Rio Branco/AC; *iii*) criação de programas de coleta seletiva consciente no Distrito Federal e; *iv*) desenvolvimento e aplicação de biodigestores e amostradores passivos utilizados na melhoria da qualidade do meio ambiente.

O primeiro capítulo investigou os impactos sociais e financeiros ocasionados pela pandemia do COVID-19, na região do grande ABC Paulista que registrou uma perda de 9% na arrecadação anual, em função da impossibilidade de cobrar e pagar dívidas, respectivamente.

Os capítulos de 2 a 4 avaliaram a caracterização física, morfológica e hidrográfica dos Rios Purus/AC e Orinoco/AM para uma melhor gestão e manejo das bacias hidrográficas e áreas de nascentes, que dependem das unidades de conservação e preservação para a manutenção da biodiversidade e qualidade do meio ambiente. Já o capítulo 5 apresentou um estudo realizado entre os anos de 2015 a 2021, que trata dos inúmeros problemas sociais e econômicos provenientes da inundação na cidade de Rio Branco/AC. Por outro lado, o sexto capítulo investigou a importância do desenvolvimento de uma prática de Coleta Seletiva Consciente nas cidades da região administrativa do Distrito Federal.

O sétimo capítulo propôs o desenvolvimento e aplicação de um biodigestor para a produção de biogás e aproveitamento de resíduos com baixa biodegradabilidade, o protótipo apresentou viabilidade técnica e financeira para ser produzido em larga escala. Por fim, o capítulo 8 realizou um estudo de levantamento bibliográfico nos últimos dez anos (2012-2022) em relação a determinação e quantificação de poluentes atmosféricos no estado do Rio Grande do Sul (RS).

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem trabalhando de forma a estimular e incentivar cada vez mais pesquisadores do Brasil e de outros países a publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros, capítulos de livros e artigos científicos.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

SUMÁRIO

COMO RECEBER DE QUEM NÃO ESTÁ RECEBENDO? - UMA ABORDAGEM HUMANIZADA VISANDO ARRECADAR EM COMÉRCIOS E INDÚSTRIAS

Data de submissão: 12/04/2023 *Data de aceite: 02/05/2023*

Bianca Camila Pereira Almeida
Encarregada Comercial, formada Empreendedorismo e Novos Negócios pela Universidade Mackenzie – SP
Santo André, SP

Rafaela Kovaleski Simão
Técnica em gestão, formada em Administração.
Santo André, SP

RESUMO: Com o período de quarentena decretado pelo Governo do Estado de São Paulo devido à pandemia do Coronavírus, muitas empresas foram obrigadas, repentinamente, a fechar suas portas como medida de prevenção à doença, reduzindo ou até mesmo paralisando totalmente suas atividades econômicas. A Organização Candidata tem seu rol de consumidores formado em maioria, por residências. Os setores comercial e industrial representam aproximadamente 10% do total de ligações abastecidas. Contudo, estes dois últimos segmentos são responsáveis por 25% do valor arrecadado pela OC. Realizada mensalmente para análise de resultados da unidade, a Reunião de Análise Crítica do mês de maio de 2020 demonstrou que o valor arrecadado com segmentos comercial e industrial no município variou negativamente em relação a janeiro de 2020 (- 30 p.p.). O resultado evidencia o grande impacto, causado pela quarentena e pelo isolamento social que os setores vêm sofrendo. Segundo estudos realizados pelo economista Jefferson José da Conceição, do Observatório de Políticas Públicas, Empreendedorismo e Conjuntura da USCS (Universidade Municipal de São Caetano), publicados em abril de 2020, a receita anual dos comércios na região do Grande ABC gira em torno de R$ 22,5 bilhões ao ano. Em julho de 2020, a previsão para o ano era uma receita de R$ 19,6 bilhões, ou seja, uma queda de aproximadamente 9% no faturamento anual. Considerando a imprevisibilidade da crise financeira instaurada e o despreparo dos empresários e comerciantes vivenciando essa inusitada situação, a equipe responsável pela gestão do Faturamento e Arrecadação na OC visualizou uma oportunidade de atuação mais próxima e humanizada no contato com este público para estreitar o relacionamento neste momento de crise e buscar, como consequência de um relacionamento personalizado, o aumento da arrecadação desses segmentos que, financeiramente,

estavam em queda.
PALAVRAS-CHAVE: Pandemia, Clientes comerciais, Cobrança humanizada.

HOW TO RECEIVE FROM THOSE WHO ARE NOT RECEIVING? - A HUMANIZED APPROACH AIMING TO COLLECT IN TRADES AND INDUSTRIES

ABSTRACT: With the period of quarantine decreed by the Government of the State of São Paulo due to the Coronavirus pandemic, many companies were suddenly forced to close their doors as a measure to prevent the disease, reducing or even completely paralyzing their economic activities. The Candidate Organization's list of consumers is mostly made up of households. The commercial and industrial sectors represent approximately 10% of the total connections supplied. However, these last two segments are responsible for 25% of the amount collected by the OC. Held monthly to analyze the unit's results, the May 2020 Critical Analysis Meeting showed that the amount collected from commercial and industrial segments in the municipality varied negatively compared to January 2020 (-30 p.p.). The result shows the great impact caused by the quarantine and social isolation that the sectors have been suffering. According to studies carried out by economist Jefferson José da Conceição, from the Observatory of Public Policies, Entrepreneurship and Conjuncture of the USCS (Municipal University of São Caetano), published in April 2020, the annual revenue of businesses in the Greater ABC region revolves around R$ 22.5 billion a year. In July 2020, the forecast for the year was a revenue of R$ 19.6 billion, that is, a drop of approximately 9% in annual revenue. Considering the unpredictability of the financial crisis and the unpreparedness of entrepreneurs and merchants experiencing this unusual situation, the team responsible for managing Billing and Collection at OC saw an opportunity for closer and more humane action in contact with this public to strengthen the relationship at this time crisis and seek, as a result of a personalized relationship, to increase revenue from these segments that, financially, were in decline.
KEYWORDS: Pandemy, Commercial Clients, Humanized Billing.

INTRODUÇÃO

Realizada mensalmente para análise de resultados da OC, a Reunião de Análise Crítica do mês de maio de 2020 demonstrou que o valor arrecadado com segmentos comercial e industrial no município de Santo André variou negativamente. No primeiro mês em período de isolamento social (abril de 2020), a queda de valor arrecadado em relação ao mês de março de 2020 foi de 12%. Em maio de 2020, a queda em relação a abril foi de 18% e em relação a janeiro de 2020 a queda de 30%. O resultado evidencia o grande impacto, causado pela quarentena e pelo isolamento social, que os setores vêm sofrendo. Segundo estudos realizados pelo economista Jefferson José da Conceição, do Observatório de Políticas Públicas, Empreendedorismo e Conjuntura da USCS (Universidade Municipal de São Caetano), publicados em abril de 2020, a receita anual dos comércios na região do Grande ABC gira em torno de R$ 22,5 bilhões ao ano. A previsão para o ano de 2020 era de R$ 19,6 bilhões, ou seja, uma queda de aproximadamente 9% no faturamento

anual. Considerando a imprevisibilidade da crise financeira instaurada e o despreparo dos empresários e comerciantes vivenciando essa inusitada situação, a equipe responsável pela gestão do Faturamento e Arrecadação da OC visualizou uma oportunidade de atuação mais próxima e humanizada no contato com este público para estreitar o relacionamento neste momento de crise e buscar, como consequência de um relacionamento personalizado, o aumento da arrecadação desses segmentos que, financeiramente, estavam em queda.

Os segmentos comercial e industrial são responsáveis por 25% do valor arrecadado pela OC, sendo que representam apenas 7% do total de ligações de água abastecidas. Caso não houvesse uma ação proativa que almejasse recuperar cliente e valor arrecadado, o índice de arrecadação continuaria em queda e prejudicaria não só indicadores correlatos, como taxa de evasão, mas também dificultaria o retorno com investimentos em saneamento no município. Na eventualidade de interrupção no fornecimento de água destes estabelecimentos por impossibilidade em arcar com o pagamento dos débitos, poderia ocorrer a fuga deste cliente para a concorrência, buscando abastecimentos alternativos. Em último caso, a interrupção no fornecimento de água poderia desencadear impactos sociais negativos para o município, levando ao fechamento definitivo de comércios locais, considerando o nível de importância da água essencialmente nesse momento numa crise de saúde pública, desemprego e instabilidade financeira para a população. O desafio estava em recuperar arrecadação sem a mudança desse cenário de redução econômica para comércios e indústrias. A ação de recuperação de clientes e débitos está relacionada ao planejamento da Unidade de Negócio, na perspectiva “Clientes e Sociedade”, e está alinhada ao objetivo operacional “Promover experiências positivas aos clientes por meio de ações inovadoras” e na perspectiva “Sustentabilidade”, alinhada ao objetivo operacional “Agregar valor à MC”.

Após identificado o problema na reunião de análise crítica, a equipe responsável pela gestão da arrecadação na OC se reuniu com representantes de todos os processos para construção da solução: equipe que atua em campo na unidade, equipes de atendimento ao público, gerente comercial e analista. Com os dados de arrecadação em queda apresentados, cada equipe colaborou na construção da forma de atuação, abordagem aos clientes e acompanhamento de resultados. A equipe de atendimento contribuiu sugerindo canais digitais que poderiam ser utilizados e qual perfil de cliente responde melhor a determinado canal. Por exemplo, grandes empreendimentos imobiliários ou condomínios respondem de forma mais segura por e-mail, enquanto comércios de menor porte tem maior receptividade à ligações telefônicas. A equipe que atua em campo sugeriu formas sutis de abordagem, que evitassem indisposição com os clientes, considerando que seria realizada uma cobrança, ainda que branda, num momento financeiramente complicado para a população e a equipe gerencial contribuiu com a seleção de um nicho para realizar essa cobrança. A equipe também contribuiu diretamente na edição do texto comunicado enviado aos clientes e relacionaram momentos da efetivação da negociação com o cliente

que poderiam ser flexibilizados, tais como a quantidade de parcelas permitidas em caso de negociação por parcelamento, probabilidade de atualização de vencimento de débitos atrasados, evitando cobrança de juros e multa aos clientes que demonstrassem interesse, etc.

OBJETIVO

O objetivo da ação foi criar uma alternativa, economicamente viável para a OC, de proporcionar a esse público, especialmente atingido pelas consequências da quarentena, a possibilidade de se manter adimplente com o pagamento das contas de água e esgoto de seu estabelecimento comercial e/ou industrial, ao passo em que não se exponham ao risco de interrupção no fornecimento de água. E o mais importante: toda a negociação é realizada de maneira flexível para o consumidor, de forma que não sobrecarregue as finanças do estabelecimento.

Para tanto, foram relacionados os principais consumidores destes dois segmentos que apresentavam histórico de adimplência até o início da quarentena, em março de 2020, e que passaram a constar no rol de clientes devedores após o decreto estadual que regulamentava o fechamento de comércios, pois não conseguiram manter seu desempenho econômico, o que abala a capacidade de se manter adimplente com o pagamento dos serviços essenciais. Ao passo que o cliente compõe o rol de clientes selecionados, uma equipe especializada entra em contato e oferta possibilidades de pagamento ou negociação flexíveis e compatíveis com a realidade atual de cada cliente. O objetivo é fornecer uma alternativa que busque a fidelização desse consumidor e também agregue valor ao negócio, e para tanto, as alternativas oferecidas são alinhadas com as estratégias da OC.

METODOLOGIA UTILIZADA

A equipe responsável pela gestão da arrecadação na OC se reuniu com representantes de todos os processos comerciais: equipe que atua em campo, equipes de atendimento ao público, encarregados, gerente e analistas. Com os dados apresentados da arrecadação em queda, cada equipe colaborou na construção da forma de atuação, abordagem aos clientes e acompanhamento de resultados. A equipe de atendimento contribuiu sugerindo canais digitais que poderiam ser utilizados e qual perfil de cliente responde melhor a determinado canal. Por exemplo, grandes empreendimentos imobiliários ou condomínios respondem de forma mais segura por e-mail, enquanto comércios menores e menos estruturados tem maior receptividade a ligações telefônicas. A equipe que atua em campo sugeriu formas sutis de abordagem, que evitassem indisposição com os clientes, considerando que seria realizada uma cobrança, ainda que branda, num momento financeiramente complicado para a população. Gerente e analistas contribuíram para seleção de um nicho para realizar essa cobrança. Considerando que a OC possui aproximadamente 17 mil ligações de água

entre comércios e indústrias, e destes, 30% estava inadimplente, foram selecionados estabelecimentos que possuíam histórico de adimplência até março de 2020 e que passaram a possuir débitos em atraso após essa data. A equipe também contribuiu diretamente na edição do “texto comunicado” que foi enviado aos clientes e relacionaram momentos da negociação com o cliente que poderiam ser flexibilizados, tais como a quantidade de parcelas permitidas em caso de parcelamento, probabilidade de atualização de vencimento de débitos atrasados, exclusão de juros e multas, etc.Sem desconsiderar o momento crítico financeiramente que vive a sociedade, foram realizados testes de comunicação com os clientes responsáveis por estabelecimentos comerciais para avaliar a receptividade em relação ao contato da OC e foi definido, através da análise dos testes realizados, que a receptividade dos consumidores à negociação de débitos pendentes era maior em clientes que possuem débitos pós início da quarentena e que consomem, em média, mais do que 20m³ mensais.

Esses clientes são contatados por e-mail, mensagens de texto e ligações telefônicas, e são ofertadas propostas de negociação viáveis que contribuem para a manutenção da adimplência, de forma personalizada a cada cliente.

RESULTADOS OBTIDOS

A taxa de arrecadação dos setores comercial e industrial da OC, no mês de abril de 2020 apresentou uma queda de 12% em relação a março e queda de 18% de maio em relação a abril, evidenciando a crise financeira no setor. Visando o retorno de arrecadação para o setor, se deu início a primeira etapa de teste da ação de cobrança na segunda quinzena de julho de 2020, que tratou diretamente com 968 clientes comerciais ou industriais, que totalizavam um débito de R$ 3,9 milhões. Com o encerramento da primeira etapa no mês de agosto de 2020, o resultado alcançado foi de R$ 2 milhões arrecadados com 673 clientes pagantes, o que corresponde a 51% de recuperação da arrecadação, em relação ao total inicial. No resultado geral da OC para os setores comercial e industrial, em agosto de 2020, primeiro mês completo de resultados da ação, o aumento da arrecadação foi de 8% em relação a julho (aproximadamente R$ 1 milhão). Se comparado com a arrecadação de todos os meses durante o período de quarentena até então, agosto de 2020 teve o melhor resultado de arrecadação, com exceção à abril. Segundo especialistas, por se tratar do primeiro mês pós início da quarentena, em abril os comerciantes ainda possuíam fundos de reserva suficientes para arcar com as despesas mensais dos estabelecimentos. Ou seja, expurgando o mês de abril, agosto apresentou o melhor resultado de arrecadação da OC, por contribuição da ação de recuperação de débitos realizada.

Ponto forte dentro da ação de cobrança humanizada é a empatia que a equipe de cobrança tem com o cliente, tratando cada situação de modo personalizado, buscando compreender a necessidade do cliente e oferecer a melhor solução possível. A abordagem

humanizada faz com que o cliente se sinta seguro e confiante na marca SABESP retribuindo o gesto da empresa, em sua grande parte com o pagamento em dia das contas. Prova disso é o depoimento do senhor Ailton, cliente satisfeito com a negociação realizada: “Bom dia OC.! Aproveitando a oportunidade, gostaria de parabenizar essa grande atitude desta impressionante empresa. Empresa esta que nos traz conforto todos os dias. Pois bem, sou comerciante e estou com dificuldades de pagar as contas de água. Gostaria de participar desta facilidade de pagamento que a Empresa está nos oferecendo. Desde já agradeço. Obrigado OC.!”

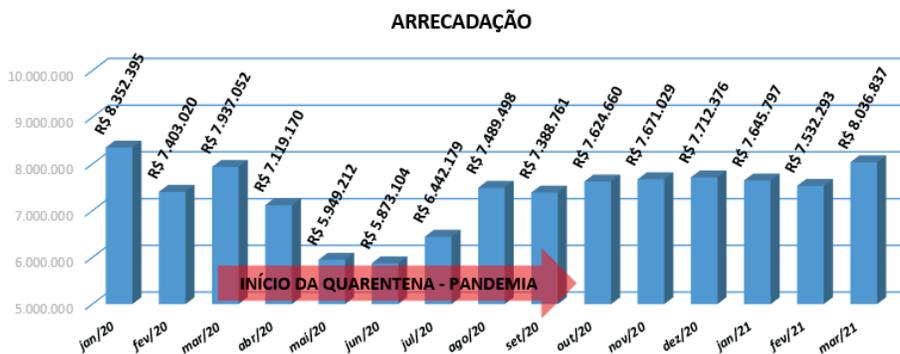



Figura 1: Gráfico de arrecadação mensal dos segmentos comercial e industrial

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Como citado anteriormente, a ação impacta positivamente no resultado da arrecadação dos setores comercial e industrial da OC, apresentando variação de 8p.p. de agosto em relação à julho (aproximadamente R$ 1 milhão de incremento), e de 1,7 p.p. de setembro em relação a agosto (primeiro ciclo completo da ação). Além disso, outro ponto forte dentro da ação de cobrança humanizada é a empatia que a equipe de cobrança demonstra com o cliente, tratando cada situação de modo personalizado, buscando compreender a necessidade do cliente e oferecer a melhor solução possível. A abordagem personalizada motivou um sentimento de segurança e confiança no público atendido, que retribuiu o gesto da empresa com o pagamento das contas de consumo em dia. A ação proativa da OC apoia a continuidade das atividades econômicas do Município, contribuindo para a retomada da economia e garantia de empregos, indiretamente. Em relação à força de trabalho, a garantia de participação ativa na construção e no desenvolvimento da ação garantem satisfação, engajamento e fortalece o senso de responsabilidade social.

CONCLUSÕES

O envolvimento da equipe em uma ação que visa mais do que simplesmente

arrecadar, mas sim poder conceder a clientes que sofrem com um problema a mais do que a pandemia, evidencia a responsabilidade social que cada colaborador adotou para si, se envolvendo com a missão e a visão da OC. A OC entende que abrir tantas possibilidades financeiras nesse momento crítico não recupera arrecadação de imediato, mas considera como um investimento a longo prazo pois percebe o impacto que a ação gera no desenvolvimento sustentável do município em que opera. A elaboração de uma solução customizada para clientes não residenciais num momento tão crítico que vive nosso país confirma para os investidores, poder concedente, força de trabalho e principalmente para a população o engajamento da OC em colaborar com esse desenvolvimento, e que tem a universalização do saneamento e a satisfação de seus clientes como pilares de sua existência.

REFERÊNCIAS

1. Estudo realizado pelo economista Jefferson José da Conceição, do Observatório de Políticas Públicas, Empreendedorismo e Conjuntura da USCS: https://www.uscs.edu.br/boletim/424.

CAPÍTULO 2

CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DO ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PURUS NA PORÇÃO ACREANA: UMA ABORDAGEM PARA A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Data de submissão: 12/04/2023 *Data de aceite: 02/05/2023*

Giulle do Nascimento e Silva
Universidade Federal de Rondônia
Ji-Paraná – RO
http://lattes.cnpq.br/1167437935933140

Marta Silvana Volpato Sccoti
Universidade Federal de Rondônia
Rolim de Moura – RO
http://lattes.cnpq.br/8802033326043600

Anderson Augusto Volpato Sccoti
Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria – RS
http://lattes.cnpq.br/0291564161481967

Jonathan Moreno Silva
Universidade Federal de Rondônia,
ProfÁgua Mestrado Profissional em Rede
Nacional em Gestão e Regulação de
Recursos Hídricos
Cacoal - RO
http://lattes.cnpq.br/5574231472528340

RESUMO: O presente capítulo destaca a importância da caracterização física de bacias hidrográficas como uma ferramenta para a gestão e planejamento de recursos naturais, tendo como abordagem a região do Alto Curso da Bacia do Rio Purus, localizada no estado do Acre, Brasil. A bacia possui 184 km de comprimento, um canal sinuoso e quatro afluentes principais, um clima marcado por dois períodos distintos: chuvosos e secos, com precipitação média variando entre 2000 e 2250 mm por ano. A região é composta por rochas sedimentares e solos como Neossolos Flúvicos, Latossolos e Cambissolos. Quanto à vegetação, a floresta Ombrófila é a predominante. A manutenção da cobertura vegetal é fundamental para minimizar os danos ambientais e materiais decorrentes das atividades agropecuárias em terrenos aplanados, que favorecem o desmatamento. É importante destacar que o argissolo é predominante no Estado do Acre, e na área de estudo. O curso do Rio Purus apresenta uma área preservada de 87,15%, em 2019, mas observa-se um aumento da classe de pastagem, que cresceu de 0,086% em 2009 para 0,12% em 2019. A análise da Bacia do Rio Purus, por meio das ferramentas de geoprocessamento, evidencia que as condições naturais garantem a manutenção da qualidade do meio ambiente e dos recursos hídricos. A utilização de SIG's permitiu delimitar solos e relevos, proporcionando uma análise geomorfológica robusta para a compreensão da estrutura da bacia e da construção de cenários futuros

de uso e ocupação. Nesse sentido, é fundamental considerar a necessidade de preservação da vegetação e da qualidade da bacia, visto que a região apresenta um avanço significativo da fronteira agrícola, mesmo com a preservação de 87,15% da vegetação nativa. Assim, é essencial acompanhar o planejamento ambiental e político, para assegurar a manutenção das unidades de conservação, a preservação dos recursos hídricos, da biodiversidade e da economia da região.
PALAVRAS-CHAVE: Recursos hídricos. Conversão do uso do solo. Morfologia de bacias hidrográficas. Gestão ambiental.

MORPHOLOGICAL OF THE UPPER COURSE OF THE PURUS RIVER WATERSHED IN THE ACREAN PORTION CHARACTERIZATION: AN APPROACH TO WATER RESOURCE MANAGEMENT

ABSTRACT: This chapter highlights the importance of the physical characterization of hydrographic basins as a tool for natural resource management and planning, focusing on the Upper Course of the Purus River Basin, located in the state of Acre, Brazil. The basin is approximately 184 km long, has a sinuous channel, and four main tributaries, with a climate marked by two distinct periods: rainy and dry, with an average precipitation ranging from 2000 to 2250 mm per year. The region is composed of sedimentary rocks and soils such as Fluvi-Entisols, Latosols, and Cambisols. Regarding vegetation, the Ombrophilous Forest is predominant. Maintaining the forest cover is essential to minimize environmental and material damages resulting from agricultural activities on flat terrain, which favors deforestation. It is important to note that the Acre state and the study area are predominantly composed of argisols. The Purus River course presents a preserved area of 87.15% in 2019, but there is an increase in the pasture class, which grew from 0.086% in 2009 to 0.12% in 2019. The analysis of the Purus River Basin through geoprocessing tools demonstrates that the natural conditions guarantee the maintenance of environmental quality and water resources. The use of GIS allowed the delimitation of soils and reliefs, providing a robust geomorphological analysis for understanding the basin's structure and constructing future scenarios of use and occupation. Therefore, it is essential to consider the need to preserve vegetation and basin quality, given the significant advancement of the agricultural frontier in the region, even with the preservation of 87.15% of native vegetation. Thus, it is crucial to monitor environmental and political planning to ensure the preservation of conservation units, water resources, biodiversity, and the region's economy.
KEYWORDS: Water resources. Land use conversion. Morphology of watersheds. Environmental management.

INTRODUÇÃO

Este capítulo é parte integrante da pesquisa de mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos desenvolvido na Universidade Federal de Rondônia – Campus Ji-Paraná, no ano de 2021, pela primeira autora e que tem como interesse expor a importância da caracterização física das bacias hidrográficas como ferramenta de gestão e planejamento dos recursos naturais, contemplando principalmente os recursos hídricos.

Segundo a Lei 9.433 de 1997 a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). Sendo assim, é importante a realização de pesquisas que possam auxiliar na construção e execução dessas políticas referentes aos recursos hídricos.

É perceptível que o debate sobre os recursos hídricos vem avançando no Brasil, tanto que o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), no intuito de facilitar a gestão das águas, estabeleceu uma divisão de doze Regiões Hidrográficas no território brasileiro: Região Hidrográfica Amazônica, Região Hidrográfica Atlântico Leste, Região Hidrográfica Atlântico Sudeste, Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental, Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental, Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia, Região Hidrográfica Parnaíba, Região Hidrográfica São Francisco, Região Hidrográfica Atlântico Sul, Região Hidrográfica Paraguai, Região Hidrográfica Paraná, Região Hidrográfica Uruguai (ANA, 2020b).

A região, de análise neste estudo está dentro da Região Hidrográfica Amazônica. Segundo a ANA (2020c), essa Região compreende os estados do Acre, Amazonas, Pará, Roraima, Rondônia, Amapá e Mato Grosso, ocupando 45% do território nacional, a qual concentra 81% da disponibilidade hídrica superficial do Brasil. Assim, pela importância da Bacia Amazônica e por considerar que algumas de suas regiões ainda apresentam áreas conservadas, optou por fazer uma análise da Bacia Hidrográfica do Alto Curso do Rio Purus, a qual drena a porção central do estado do Acre.

Segundo Abud (2011), o estado do Acre encontra alguns desafios na gestão de seus recursos naturais, e como consequência o estado vem estimulando estudos que possam servir como base para o uso mais adequado desses recursos.

O estado do Acre é uma região de fronteira internacional, tendo divisas com Bolívia e Peru, não diferente, os seus rios também são transfronteiriços, sendo assim, esses rios são bem importantes no contexto das relações internacionais e nacional para a gestão dos recursos hídricos (ACRE, 2012).

A rede hidrográfica do Acre:

> (...) apresenta uma extensa rede hidrográfica com os rios correndo no sentido sudoeste/nordeste, tendo como principais características o paralelismo e as mudanças de direção dos seus cursos e a rede de drenagem bem distribuída. Outro aspecto importante da ótica do planejamento de políticas públicas refere-se à territorialidade da rede de drenagem - a maioria dos rios que cortam o Acre tem a sua nascente localizada no Peru, atravessam o Estado e deságuam em outros rios do Amazonas. Ou seja, são rios que apresentam ao mesmo tempo caráter internacional e federal. (ACRE, 2010, p. 79).

A Bacia do Purus tem uma área aproximada de 63.000 km², que banha os Estados do Amazonas, Acre e os países Peru e Bolívia (SILVA; SILVA, 2019). Tem como tributário principal o rio transfronteiriço Purus, e sua nascente está nas colinas do Arco Fitzcarrald,

no Peru, desaguando nas águas do Rio Solimões (SILVA; SILVA, 2019).

Através da Lei Estadual nº 1500/2003, foi instituída a Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Acre, a qual é vinculada a Política Estadual de Meio Ambiente, gerando uma gestão integrada dos recursos hídricos e uma harmonização entre os múltiplos e competitivos usos da água, promovendo o desenvolvimento das atividades econômicas e assegurando o abastecimento humano (ACRE, 2012).

Segundo ACRE (2012), a gestão dos recursos hídricos no estado é descentralizada e leva em consideração as regiões e as bacias hidrográficas.

As relações entre meio ambiente e sociedade, extremamente complexas, devem ser estudas (CAMPOS, 2008; PONS; PEJON, 2008), para que seja possível produzir uma gestão mais eficiente. Os impactos antrópicos gerados ao meio ambiente como escassez dos recursos hídricos, o aumento do desmatamento, os processos erosivos e o manejo inadequado do solo geram alteração na paisagem (VALENTE DO NASCIMENTO; LIMA FERNANDES, 2017), devendo assim ter estudos para poder subsidiar a gestão ambiental.

Nesse sentido, percebe-se que a gestão dos recursos hídricos no estado do Acre se torna um fator favorável para se manter a qualidade da Bacia Amazônica, sendo de suma importância o mapeamento do uso e ocupação do solo como ferramenta para gerar indicadores de potencialidade e fragilidades do ambiente, subsidiando, assim, ações mitigadoras e de proteção para os recursos hídricos e o bem-estar da população.

Segundo Aquino et al. (2017), p.15:

> (...) a vulnerabilidade ambiental pode ser definida como o grau em que um sistema natural é suscetível ou incapaz de lidar com os efeitos das interações externas. Pode ser decorrente de características ambientais naturais ou de pressão causada por atividade antrópica; ou ainda de sistemas frágeis de baixa resiliência, isto é, a capacidade concreta do meio ambiente em retornar ao estado natural de excelência, superando uma situação crítica.

Assim essa proposta visa realizar uma caracterização da porção do alto curso da bacia hidrográfica do Rio Purus – Porção Acre, gerando informações que serão úteis para a gestão dos recursos hídricos no estado do Acre, podendo organizar os processos de ocupação, mitigar ou recuperar processos de degradação, identificar áreas de vulnerabilidade e de potencialidades, além de promover o devido comprometimento com os recursos hídricos do estado.

MATERIAIS E MÉTODOS

Localização da área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Alto Curso do Rio Purus é uma região situada no Estado do Acre, Brasil, entre as latitudes 9°34’14.20” e 8°45’3.06”S e longitudes 70°35’24.92” e 68°59’41.88”O (Figura 01), possui aproximadamente 184.173 km de comprimento do principal tributário do Rio Purus e apresenta uma área de cerca de 43.897 km² (ACRE,

2012).

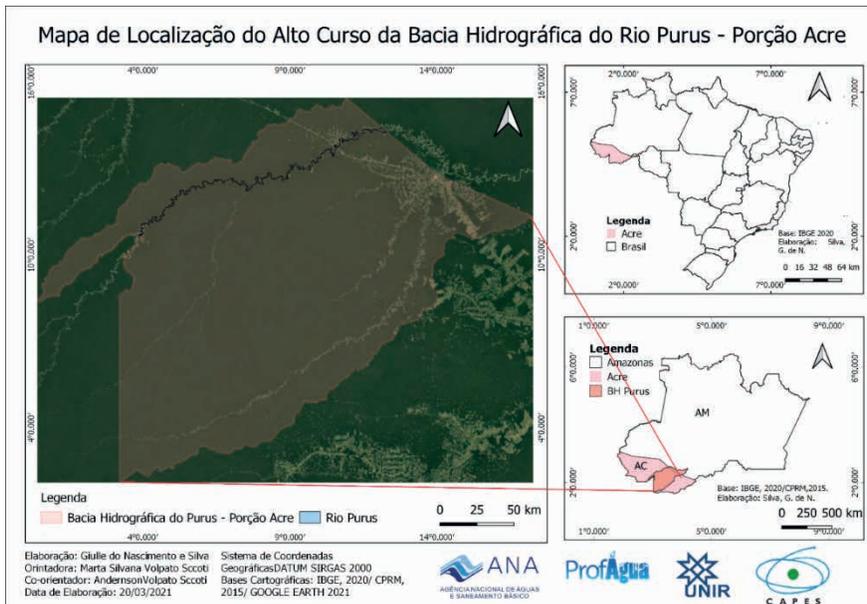



Figura 01: Mapa de localização da Bacia do Rio Purus no Estado do Acre (FONTE: Silva, 2021).

Coleta de dados, tratamento de informações e elaboração dos mapas

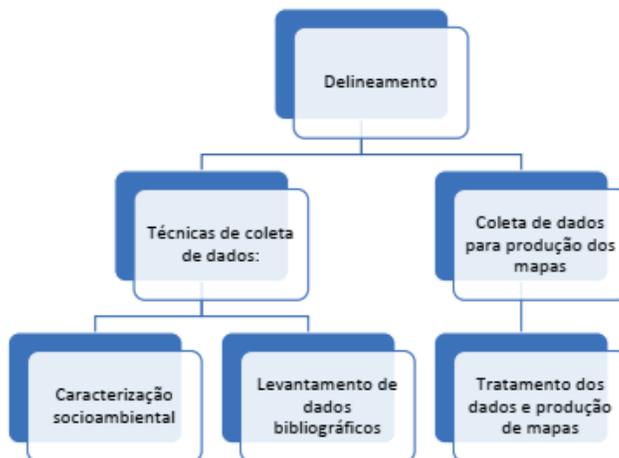



Figura 02: Fluxograma sobre os métodos utilizados na pesquisa (FONTE: Silva, 2021).

Primeiramente foi produzido um levantamento bibliográfico tendo o cuidado de acessar os artigos produzidos nos últimos 05 (cinco) anos, entre 2016 e 2021, que abranjam

as temáticas, correlacionadas: recursos hídricos, gestão ambiental, geoprocessamento, gestão hídrica, planejamento, bacia hidrográfica. As referências foram retiradas das bases do Scielo e Google acadêmico.

Para a caracterização física da Bacia foi feito o levantamento e aquisição de imagens do satélite Landsat 8, sensor Operational Terra Imager – OLI, composição RGB utilizando as bandas 4, 5 e 6, com resolução espacial de 30x30m, referente a órbita 231 e ponto 68, downloads da base de dados do Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

A identificação da geomorfologia foi realizada por meio de bancos de dados de órgãos governamentais, como: do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2021) e, Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2015). Quanto a identificação da hidrografia, foram utilizados os bancos de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018), Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2020d). Todos os dados foram processados no SIG QGIS (Geographic Information System) versão 3.10.14 (A Coruña).

A avaliação do uso e ocupação da Bacia foi realizada por meio de imagens de satélite dos anos de 2004, 2008, 2010, 2012 e 2014 e 2019, para que assim possa ser fácil a observação das mudanças, pois, dentro da área de estudo a densidade demográfica e as zonas urbanas são relativamente pequenas. Para analisar a dinâmica da área de estudo foram utilizadas imagens de satélites Landsat 5 (1984) e Landsat 8 (2021)

.Quanto as imagens, tanto do Landsat 5 quanto do Landsat 8, foram obtidas por meio do banco de dados do INPE, Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomas) (Coleção 5).

Para gerar os mapas temáticos, primeiramente foi captado e armazenado camadas vetoriais (shapefiles) de bases de dados como: CPRM (2015), IBGE (2018), ANA (2015) e DNIT (2018). Foi realizada então, a delimitação da Bacia Hidrográfica do Alto Curso do Rio Purus no Estado do Acre, com o auxílio de software Google Earth e a base cartográfica do estado do Acre (CPRM, 2015; IBGE, 2018).

Em seguida, tomando a base de dados do Programa Geologia do Brasil - Geodiversidade do Estado do Acre, 2015 – da CPRM, foi possível compor os mapas de geologia, geomorfologia, solo e de áreas de conservação.

Para confeccionar os mapas supracitados foram cruzadas as camadas vetoriais da delimitação da bacia, quanto às camadas de solo e geomorfologia do Estado do Acre, foi produzido o corte para compreender apenas os limites da área de estudo.

Em seguida, foi produzido a categorização das camadas vetoriais, para que pudesse ser vislumbrado as classificações, posteriormente foram utilizados os códigos de cores das classes de mapeamento em RGB.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Geomorfologia

A formação geomorfológica do Estado do Acre tem sua estruturação durante o período Cenozóico, associado à Orogenia Andina, com o início das atividades tectônicas que formaram a Cordilheira dos Andes, origina-se um entulhado de sedimentos fluviolacustre a fluvial, que se denomina de Formação Solimões (CPRM, 2015).

Quanto a área de estudo verificou-se a presença de 4 (quatro) domínios geomorfológicos: o Domínio Colinoso da Amazônia Ocidental o qual é predominante na área da Bacia e que se divide em: Domínio de Colinas Amplas e Suaves e Domínio de Colinas Dissecadas e Morros Baixos. (Figura 03).

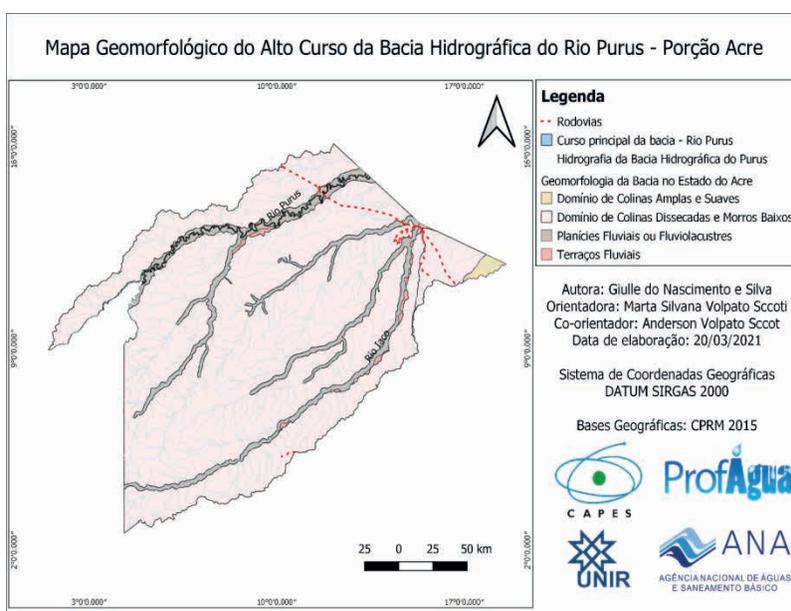



Figura 03: Formações geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Alto Curso do Rio Purus – Porção Acre, (FONTE: Silva, 2021).

A demonstração da área de ocupação da bacia em km², percentual de ocorrência e o grau de declividade de cada formação geológica são apresentados no Quadro 01.

Formações geomorfológicas	Área (km²)	Percentual de cada classe (%)	Declividade (grau)
Domínio de Colinas Amplas e suaves	240,189	0,56%	3 a 10
Domínio de Colinas Dissecadas e Morros Altos	38.305,733	89,37%	5 a 20
Planícies fluviais ou fluviolacustres	2.320,734	9,41%	0 a 3
Terraços fluviais	259,97	0,66%	0 a 3

Quadro 01: Áreas de cada classe geológica para a Bacia Hidrográfica do Alto Curso do Rio Purus – Porção Acre, (FONTE: Silva, 2021).

O Domínio Colinoso da Amazônia tem como base de sua formação argilito maciços, siltitos, arenitos finos e esparsas lentes de calcretes e gipsita do topo da Bacia do Solimões, com cotas baixas, variáveis entre 200 e 350 m (CPRM, 2015).

Sua morfologia pode ser caracterizada por relevo de rápida dissecação dos terrenos, estruturas com predisposição a erosão e baixa suscetibilidade a percolação, no entanto, com boa fertilidade, e considerável cobertura vegetal preservada (CPRM, 2015).

O Domínio Colinoso é uma denominação genérica para as variações dessa formação, na área de estudo é perceptível duas variações: a Domínio de Colinas Amplas e Suaves, e o Domínio de Colinas Dissecadas e de Morros Baixos.

O Domínio de Colinas Amplas e Suaves é um relevo de colinas pouco dissecadas, de morfologia tabular ou alongada, com baixa a moderada suscetibilidade a erosão, com amplitude de relevo de 20 a 50 m, e inclinação das vertentes de 3º a 10º (CPRM, 2015), corresponde a apenas 0,56% da área da Bacia, onde se tem uma concentração da expansão agrícola.

O Domínio de Colinas Dissecadas e de Morros Baixos apresentam colinas com topos arredondados ou aguçados, formação de solos espessos e bem drenados, com moderada disposição para erosão, geração de rampas de colúvios, amplitude de relevo entre 30 e 80 m, e inclinação das vertentes entre 5º e 20º (CPRM, 2015), formação predominante na Bacia, correspondendo a 89,37% do território da Bacia.

Como esclarecido nos parágrafos acima, este território é passível a erosão, por mais que possua vegetação preservada, faz-se necessário o planejamento do desenvolvimento econômico da área, evitando o desmatamento desordenado, o processo erosivo, o entulhamento dos fundos dos vales e assoreamento dos recursos hídricos.

Outra formação de predominância na Bacia é o Domínio de Planícies Fluviais ou Fluviolacustres. Essas formações são superfícies sub-horizontais, formada por depósitos, e apresentam gradientes suaves que se direcionam aos cursos d'águas, sendo facilmente inundáveis, contém uma amplitude de relevo zero, e inclinação das vertentes de 0º a 3º, áreas geralmente destinas a agricultura de várzea (CPRM, 2015). Na área da Bacia essa

formação, representou apenas 9,41% do território, e está intimamente ligada ao curso dos rios, assim sendo propício aos processos erosivos fluviais.

Segundo o ACRE (2010), essas planícies estão localizadas nos maiores centros urbanos do Estado, o que deve ser levando em consideração no planejamento urbano garantindo a não ocupação dessas áreas.

Quanto aos Terraços Fluviais, segundo Guerra (1993) são depósitos localizados a margens de rios. São zonas de acumulação, situam-se acima dos níveis de inundação, apresenta relevo plano a relativamente enrugado, possuem uma amplitude de relevo entre 8 a 15 m, são suscetíveis a erosão fluvial, fornecem material para a construção civil, como argila e areia (CPRM, 2015). Uma atenção especial no planejamento da bacia deve ser concedida as áreas de Terraços Fluviais, pois o avanço do desmatamento, para atividade agropastoril, nessas áreas, vem sendo significativo, exibindo o solo e promovendo áreas de desbarrancamento.

Classificação dos Solos

No Estado do Acre são contabilizados 8 (oito) classes de solo, em maior predominância apresenta-se o argissolo, o qual cobre quase 40% do território do Estado, e como demais classes aparece o cambissolo, luvissolo, gleissolo, latossolo, vertissolo, plintossolo e neossolo.

A classe de solo predominante na área de estudo foi o Argissolo vermelho-amarelo eutrófico seguida de Argissolo vermelho-amarelo distrófico (Figura 04).

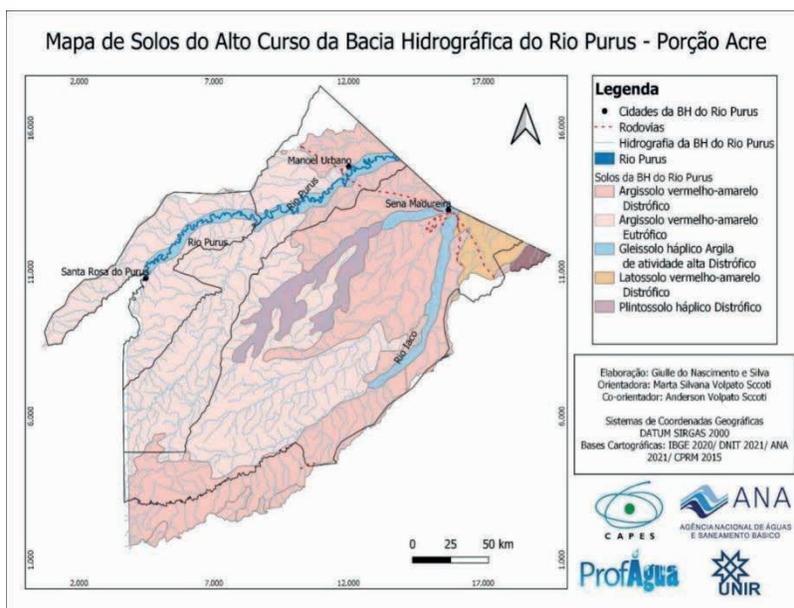



Figura 04: Classes de solo da Bacia Hidrográfica do Alto Curso do Rio Purus – Porção Acre, (FONTE: Silva, 2021).

As classes de solo predominantes na Bacia, com suas proporções de ocupação da área em km2 e percentuais são apresentados no Quadro 02.

Classes de solos	Área (km²)	Percentual de cada classe (%)	Caracterização
Argissolo vermelho-amarelo eutrófico	21.052,122	49,135%	Solos profundos, boa fertilidade, ácido, suscetíveis a erosão hídrica, presente em relevo ondulado a muito ondulado (EMBRAPA, 2018; CPRM, 2015).
Argissolo vermelho-amarelo distrófico	15.445,69	36,051%	Solos profundos, baixa fertilidade, ácidos, suscetíveis a erosão hídrica, presente em relevo ondulado a muito ondulado
Gleissolo háplico argila	2.468,632	5,762%	Hidromórficos, desenvolvidos de sedimentos argilosa, argilo-arenoso e arenosa, pouco suscetível a erosão
Plintossolo háplico distrófico	2.014,490	4,702%	Hidromórficos, desenvolvidos de sedimentos não consolidados e recentes, com uma constituição argilosa, argilo-arenoso e arenosa.
Latossolo vermelho-amarelo distrófico	1.169,026	2,729%	Bem mineralizados, e com baixa drenagem (CPRM, 2015; EMBRAPA, 2018), relevos planos ou com baixa ondulação, drenagem e baixa fertilidade.
Tabuleiros da Amazônia Ocidental	231,610	0,541%	Componentes das paisagens planas, sedimentar e que apresentam baixa altitude.

Quadro 02: Área de cada classe de solo da área de estudo: Bacia Hidrográfica do Alto Curso do Rio Purus – Porção Acre, (FONTE: Adaptado deSilva, 2021).

Uso e ocupação do solo

A Bacia Hidrográfica do Rio Purus tem uma das suas principais nascentes no Peru, e faz um percurso até sua foz no Rio Solimões no Estado do Amazonas, a área que será

discutida é a parte alta do curso da bacia, em específico a que adentra o Estado do Acre (Figura 05 e 06).

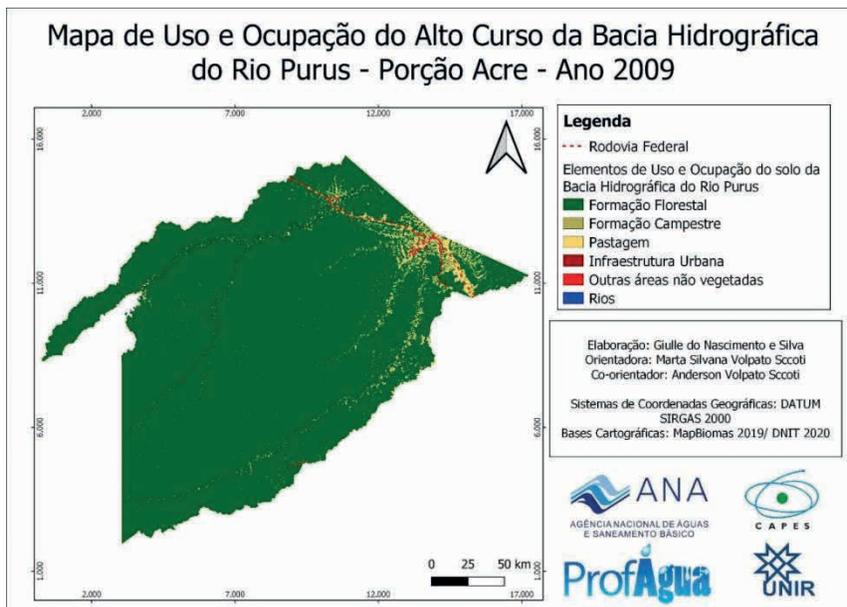



Figura 05: Área de uso e ocupação do solo no Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Purus – Porção Acre – Ano 2009, (FONTE: Silva, 2021).

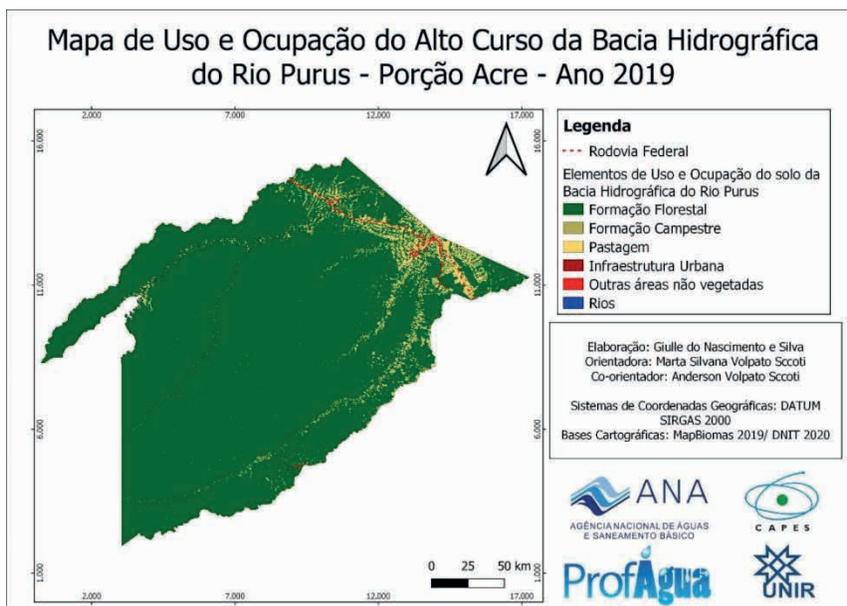



Figura 06: Área de uso e ocupação do solo no Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Purus – Porção Acre – Ano 2019, (FONTE: Silva, 2021).

É apresentado no Quadro 03, a distribuição das classes de uso e ocupação da área de estudo, que são predominantemente: de pastagem, infraestrutura urbana, e formação florestal, com a área de ocupação dentro da bacia em km² e a porcentagem, tanto para o ano de 2009, quanto para o ano de 2019.

Classe	Área (km²) (2009)	Área (%) (2009)	Área (km²) (2019)	Área (%) (2019)
Pastagem	3.699,084	0,086%	5.397,862	0,12%
Infraestrutura Urbana	8,244	0,00019%	8,597	0,00020%
Formação Florestal	38.370,175	91,02%	36.671,044	87,15%

Quadro 03: Área ocupada pelas classes de uso do solo na Bacia Hidrográfica do Alto Curso do Rio Purus – Porção Acre – Anos 2009 – 2019, (FONTE: Silva, 2021).

Considerando primeiramente a necessidade de realização de uma análise da distribuição espacial das classes do uso do solo na Bacia Hidrográfica do Alto Curso do Rio Purus, fica nítido que atualmente a referida Bacia encontra-se devidamente preservada com 87,15% de formação florestal no ano de 2019.

No entanto, é perceptível o avanço da classe de pastagem, se levarmos em consideração os anos de 2009, onde a área ocupada era de 0,086%, e o ano de 2019, com um total de 0,12% da área total da referida Bacia. Vale salientar que o fortalecimento e a expansão do agronegócio no Estado do Acre, representa 12% do Produto Interno Bruto – PIB local, alcançando em torno de 1,4 bilhões, garantindo aproximadamente 75 mil empregos diretos (ACRE, 2021).

A classe Infraestrutura Urbana ocupa um total de 0,00020%, compreendendo os municípios 3 (quatro) municípios: Sena Madureira, Manoel Urbano e Santa Rosa do Purus, no Estado do Acre.

Caracterização física de bacias hidrográficas como ferramenta de gestão

Segundo a Lei 9.433 de 1997 a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). Sendo assim, é importante a realização de pesquisas que possam auxiliar na construção e execução dessas políticas referentes aos recursos hídricos.

A caracterização física das bacias hidrográficas é uma ferramenta importante para a gestão e planejamento dos recursos hídricos. Através dela, é possível entender a estrutura da bacia, identificar riscos e potencialidades, bem como planejar a ocupação e uso do solo de forma a preservar a qualidade dos recursos hídricos. A análise geomorfológica é um dos principais aspectos da caracterização física da bacia, sendo essencial para entender

as características físicas do terreno, como solos, relevos e processos erosivos. O uso de ferramentas de geoprocessamento, como o SIG, é fundamental para quantificar e analisar as características físicas e usos da terra na bacia, permitindo a construção de cenários futuros de uso e ocupação do solo.

Além disso, é importante considerar a vegetação nativa da bacia, que desempenha um papel fundamental na preservação da qualidade dos recursos hídricos. A preservação da vegetação é uma forma de garantir a manutenção da qualidade da bacia, uma vez que ajuda a manter o equilíbrio ecológico, a biodiversidade, as comunidades tradicionais e a economia gerada no entorno da bacia.

Portanto, é fundamental que os decisores políticos/administrativos que envolvam a bacia garantam a manutenção da vegetação nativa para preservar a qualidade dos recursos hídricos da área.

CONCLUSÃO

Os resultados da pesquisa indicam que a bacia hidrográfica do Alto Rio Purus apresenta condições naturais favoráveis para a manutenção da qualidade ambiental, em especial dos recursos hídricos.

A aplicação de ferramentas de geoprocessamento, como o Sistema de Informações Geográficas (SIG), é de fundamental importância para quantificar e analisar as características físicas e usos da terra na bacia hidrográfica. O geoprocessamento permitiu a delimitação das áreas de solos e relevos, permitindo uma análise geomorfológica robusta para melhor compreender a estrutura da bacia hidrográfica e planejar futuros cenários de uso e ocupação do solo que assegurem a manutenção da qualidade da bacia hidrográfica.

Além disso, o estudo revelou que a região preserva 87,15% da vegetação nativa, apesar de ter ocorrido um aumento de 0,034% na fronteira agrícola. Portanto, é imperativo que se desenvolva um planejamento ambiental para manter a vegetação e preservar a qualidade da bacia hidrográfica.

REFERÊNCIAS

ABUD, éllen Albuquerque. ***Pedoenvironmentandhydrologicalaspects as a basis for landmanagement in themunicipalityof Xapuri****, Acre.* 2011. 182 f. Dissertação (Mestrado emFertilidade do solo e nutrição de plantas; Gênese, Morfologia e Classificação, Mineralogia,Química,) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

ACRE. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. ***Plano estadual de recursos hídricos do Acre***– Rio Branco: SEMA, 2012.

ACRE. Governo do Estado do Acre. ***Programa Estadual de Zoneamento Ecológico eEconômico do Estado do Acre, fases I e II.*** **Zoneamento Ecológico econômico: recursos naturaise meio ambiente e indicativos para a gestão territorial**. Rio Branco: SECTMA, 2000/2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil) (**ANA**). ***Situação da Água no Mundo***. Disponível em: https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/agua-no-mundo. Acesso em: 28 agost 2020b.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil) (**ANA**). ***Divisões hidrográficas do Brasil***. Disponível em: https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/divisoes-hidrograficas Acesso em: 28 agost 2020c.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil) (**ANA**). ***Região Hidrográfica Amazônica***. Disponível em: https://www.ana.gov.br/as-12-regioes-hidrograficas-brasileiras/amazonica. Acesso em: 28 agost 2020.

ALBUQUERQUER, Emanuel Lindemberg Silva; MEDEIROS, Cleyber Nascimento de. *Vulnerabilidade socioambiental em bacias hidrográficas no Setor Leste Metropolitano de Fortaleza, Ceará.* AteliêGeográfico -Goiânia-GO, v. 11, n. 1, p.109-126, abr/2017.

AQUINO, Afonso Rodrigues de; PALLETA, Francisco Carlos; ALMEIDA, Josimar Ribeiro de. ***Vulnerabilidade ambiental***. São Paulo :Blucher, 2017. 112 p. : il., color.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal*. Lei n. 9.433:* ***Política Nacional de Recursos Hídricos.*** Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 1997. 72p.

CAMPOS, D. C.***Dinâmica de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do Arroio dos Pereiras em Irati*** **– PR** ***e sua influência na qualidade das águas superficiais.*** **2008**. 110 f. Dissertação (Mestrado em Gestão do Território) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.

CPRM, SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. ADAMY, Amílcar**.** ***Geodiversidade do estadodo Acre***/ Organização Amílcar Adamy. – Porto Velho: CPRM, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Centro Nacional de Pesquisa de Solos.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2018. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. ***Sistema brasileiro de classificação de solos***. 5 ed. Brasília, DF: 2018. 356 p.

GUERRA, Antônio José Teixeira. **Dicionário Geológico-Geomorfológico.** 8. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. ***Diagnósticogeoambiental e socioeconômico: área de influência da BR-364****, trecho Porto Velho/RioBranco.* Rio de Janeiro: IBGE, 1990. 132 p.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Projeto e pesquisas:* ***TerraClass.***Disponívelem: http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/dados_terraclass.php. Acesso em: 24 nov.2021a.

PONS, N. A. D.; PEJON, O. J. ***Aplicação do SIG em estudos de degradação ambiental: o caso de São Carlos (SP****)*. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v.38, n.2, p. 295-302, 2008.

SILVA, Gabriele Furtado da; SILVA, Joecila Santos da. ***Validação dos dados do satélite altimétrico jason-2 na bacia do rio Purus***. ANAIS. 30º Congresso ABES, 2019.

SILVA, Giulle do Nascimento e. **ANÁLISE SÓCIOAMBIENTAL DO ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PURUS – PORÇÃO ACRE**. 2021. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Profágua – Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação dos Recursos Hídricos, Fundação Universidade Federal de Rondônia, Jí-Parana, 2021.

VALENTE DO NASCIMENTO, Thays; Lima Fernandes, Lindemberg. **Mapeamento de uso e ocupação do solo em uma pequena bacia hidrográfica da Amazônia**. Ciência e Natura, vol. 39, núm. 1, enero-abril, 2017, pp. 169-177 Universidade Federal de Santa Maria Santa Maria, Brasil.

CAPÍTULO 3

CARACTERIZAÇÃO DA VARIABILIDADE SAZONAL DO REGIME HIDROLÓGICO DO RIO ORINOCO POR MEIO DOS DADOS ALTIMÉTRICOS DO SATÉLITE JASON-2

Data de aceite: 02/05/2023

Mateus Ferreira de Oliveira
Laboratório de Recursos Hídricos e Altimetria Espacial da Amazônia da Universidade do Estado do Amazonas– UEA, Escola Superior de Tecnologia – EST
Manaus/AM, Brasil.

Vinicius dos Santos Albuquerque
Acadêmico do Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Universidade do Estado do Amazonas - UEA, Escola Normal Superior - ENS
Manaus/AM, Brasil.

Tainá Sampaio Xavier Conchy
Laboratório de Recursos Hídricos e Altimetria Espacial da Amazônia da Universidade do Estado do Amazonas – UEA, Escola Superior de Tecnologia – EST
Manaus/AM, Brasil.

Luisa Gonçalves de Feitas
Laboratório de Recursos Hídricos e Altimetria Espacial da Amazônia da Universidade do Estado do Amazonas – UEA, Escola Superior de Tecnologia – EST
Manaus/AM, Brasil.

Joecila Santos da Silva
Professora da Universidade do Estado do Amazonas – UEA, Escola Superior de Tecnologia – EST
Manaus/AM, Brasil.

Stéphane Calmant
Institut de Recherche pour le Développement – IRD, UMR 5566 LEGOS CNES/CNRS/IRD/UT, 14
Toulouse, France.

RESUMO: Realizar o monitoramento hidrológico na bacia amazônica é uma tarefa complexa devido a suas grandes extensões hidrográficas. Somado a isso, existe a dificuldade para obtenção dos dados hidrológicos nessa região por conta da existência de áreas de difícil acesso e a baixa quantidade ou inexistência de estações físicas de monitoramento fluviométrico *in situ*. Nesse sentido, o emprego da técnica de altimetria espacial, por meio dos satélites altimétricos que possuem cobertura global e ampla resolução espacial, auxilia na celeridade e melhora na qualidade das informações hidrológicas da Rede Hidrometeorológica Nacional. Portanto, este estudo tem como

objetivo caracterizar e analisar a variabilidade espacial e sazonal do regime hidrológico do rio Orinoco através da aplicação da técnica de altimetria espacial. Para tal, serão empregados os dados altimétricos de nível de água, obtidos por meio de estações virtuais com o uso do satélite Jason-2, cujo período de funcionamento compreende aos anos de 2008 a 2016. Os resultados deste estudo mostram que as 9 séries temporais e hidrogramas anuais de nível de água do rio Orinoco possuem variabilidade no regime hidrológico, caracterizado por possuir ascensão mais rápida que recessão, onde o período de seca se deu entre janeiro e março e as cheias entre julho e setembro. Em relação à amplitude média, detectou-se valores maiores a montante, enquanto os valores mínimos estavam localizados a jusante. Tais resultados certificam a utilização dos dados altimétricos do Jason-2 como um meio de medir e monitorar a sazonalidade deste rio transfronteiriço, servindo como base para estudos hidrológicos.
PALAVRAS-CHAVE: Altimetria espacial; Regime hidrológico; Rio Orinoco.

ABSTRACT: Carrying out hydrological monitoring in the Amazon basin is a complex task due to its large hydrographic extensions. Added to this, there is a difficulty in obtaining hydrological data in this region due to the existence of areas with difficult access and the low number or inexistence of physical stations for in situ fluviometric monitoring. In this sense, the use of the spatial altimetry technique, through altimetric satellites that have global coverage and wide spatial resolution, helps to speed up and improve the quality of hydrological information in the National Hydro-meteorological Network. Therefore, this study aims to characterize and analyze the spatial and seasonal variability of the hydrological regime of the Orinoco River through the application of the spatial altimetry technique. To this end, the altimetric data of water level will be used, obtained through virtual stations using the Jason-2 satellite, whose operating period covers the years 2008 to 2016. The results of this study show that the 9 time series and annual hydrographs of the water level of the Orinoco River show variability in the hydrological regime, characterized by having a faster rise than recession, where the dry period took place between January and March and the floods between July and September. Regarding the mean amplitude, higher values were detected upstream, while the minimum values were located downstream. These results certify the use of Jason-2 altimetric data as a means of measuring and monitoring the seasonality of this transboundary river, serving as a basis for hydrological studies.
KEYWORDS: Spatial altimetry; Hydrological regime; Orinoco River.

1 I INTRODUÇÃO

O rio Orinoco é o segundo maior rio da América do Sul e está classificado em terceiro lugar no mundo em relação ao despejo de água nos oceanos. Sua bacia cobre uma área de 990.000 km² (BERNER; BERNER, 1987), dos quais 70% dele estão na Venezuela e 30% na Colômbia (LEWIS; SAUNDERS, 1989). O comprimento do canal do rio Orinoco é de aproximadamente 2.140 km (SILVA LEÓN, 2005), enquanto a vazão média anual estimada na foz do rio é de aproximadamente 37.600 m³/s (LARAQUE *et al.*, 2013), tais valores podem ser obtidos por meio da coleta e interpretação de dados hidrometeorológicos, para então entender o regime hidrológico do rio Orinoco.

Todavia, ainda há dificuldade para a realização da coleta de dados hidrometeorológicos *in situ* em rios devido a fatores como sistema de monitoramento com custo de instalação elevado, grande quantidade de ilhas e áreas de difícil acesso, troca de dados entre os países e pouca iniciativa das agências reguladores em instalar estações hidrométricas (MARINHO, 2019). Por conta destas condições, uma das soluções encontradas é a utilização das técnicas de sensoriamento remoto que quando associadas aos dados *in situ* permitem um melhor entendimento de processos hidrológicos (FILIZOLA *et al.*, 2011).

Com isso, a utilização da altimetria radar para medição do nível dos rios suplantou as dificuldades relacionadas à falta de informações hidrológicas nas bacias hidrográficas, tornando o estudo mais preciso e coeso, pois, permite a observação com detalhes tanto espacial quanto temporal do sistema hidrológico como um todo, em especial as localidades de difícil acesso (DAMASCENO, 2017; SILVA, 2010).

Diante do exposto, este estudo objetiva aplicar a técnica de altimetria espacial a fim de caracterizar e analisar a variabilidade espacial e sazonal do regime hidrológico do rio Orinoco com base em dados altimétricos de nível de água, obtidos através, de estações virtuais utilizando o satélite Jason-2, cujo período de funcionamento se estende de 2008 a 2016, com tempo de revisita de 10 dias e 303 ciclos temporais.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A Bacia do Orinoco está situada no Hemisfério Norte e cobre uma área de cerca de $1x10^6$ km² (SILVA LEON, 2005) localizada na parte nordeste da América do Sul, entre 2° e 9° N e 75° e 62° O. A nascente do Orinoco está localizada a 1.047 m no Cerro Delgado Chalbaud (CARBONELL, 1998), o rio possui comprimento total de cerca de 2.140 km (Silva Leon, 2005), e sua bacia compreende três zonas fisiográficas principais: Cordilheira dos Andes e do Caribe; a área de planície aluvial de várzea, localmente chamada de ‘Llanos’; e o escudo da Guiana Pré-cambriana (Figura 1).

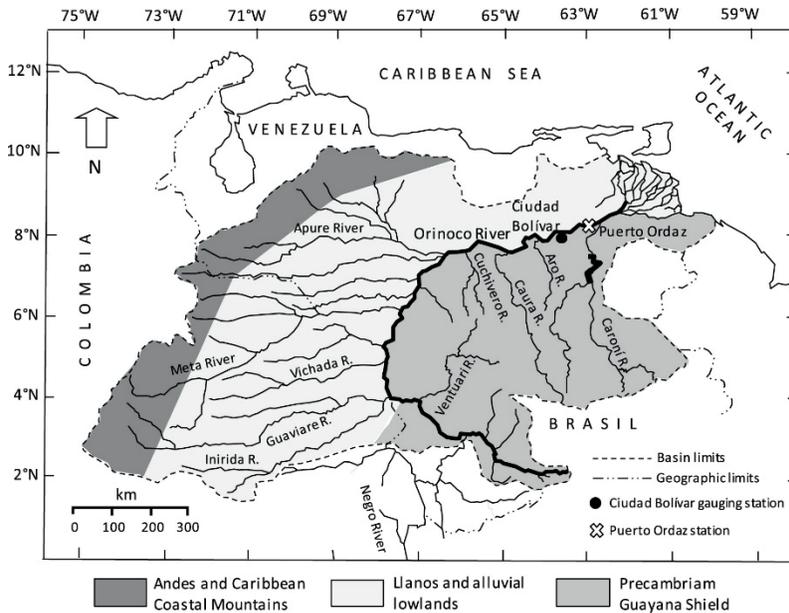



Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do Orinoco

Fonte: Laraque *et al.*, 2013

O rio Orinoco apresenta características mistas entre padrões trançados e levemente sinuosos. O canal principal trançado é desenvolvido em zonas de expansão de fluxo, principalmente localizadas a jusante da confluência do rio Apure, que são caracterizadas por numerosos bancos de areia e ilhas que dividem o fluxo em vários canais (LOPEZ; PEREZ, 1999).

2.2 Dados Altimétricos

Neste trabalho utilizaram-se os dados do satélite Jason-2, empregando-se o algoritmo *standard* de tratamento de FO *Ice-1*. Os dados altimétricos fazem parte da Rede de Monitoramento Altimétrico do Laboratório de Recursos Hídricos e Altimetria Espacial da Amazônia (RHASA) disponíveis na base de dados Hydroweb, da plataforma THEIA-CNES (http://hydroweb.theia-land.fr/?lang=en&).

2.3 Elaboração das Estações Virtuais

A elaboração da estação virtual (EV) é fundamentada na convergência de um traço do satélite altimétrico com os corpos hídricos na superfície terrestre para assim se obter uma série temporal da altura do plano de água (SILVA, 2010; CALMANT, 2006). Para a criação das EVs foi utilizada a metodologia descrita por Silva *et al.* (2010), onde os dados altimétricos foram selecionados por meio do programa *Multi-mission Altimetry Processing Software* (MAPS, 2018) plotados através de um mosaico de imagem em segundo plano do programa *Google Earth* (Google Earth, 2020). Através do modelo de ondulação geoidal

EGM2008, desenvolvido por Pavlis *et al*. (2008), as alturas elipsoidais de nível de água, foram convertidas em alturas geoidais.

2.4 Caracterização do regime hidrológico

A princípio, para a caracterização do regime hidrológico, foi obtida a representação gráfica das informações hidrológicas através de séries temporais com a altura da lâmina da água, a fim de verificar o comportamento das cotas ao decorrer dos anos de registro do satélite, examinando a presença de regularidade e estacionariedade, assim como, a possível ocorrência de anomalias. Para a montagem dos gráficos, foram elaborados cotagramas para cada série temporal por meio do cálculo das médias mensais anuais das cotas altimétricas, conforme a metodologia proposta por Bittencourt e Amadio (2007).

Obtiveram-se ainda valores de amplitude média da superfície da água calculados conforme a Equação 1. Estes resultados foram obtidos com base nos dados dos cotagramas, sendo utilizados na avaliação da variabilidade do regime hidrológico em questão.

$$\bar{A} = \bar{H}_{máx} - \bar{H}_{mín} \quad (1)$$

onde $\bar{A}$ é a amplitude média, $\bar{H}_{máx}$ a cota máxima do cotagrama e $\bar{H}_{min}$ a cota mínima do cotagrama.

3 | RESULTADOS

Os dados altimétricos procedentes do satélite Jason-2 resultaram do conjunto de 09 estações virtuais, listadas e descritas na Tabela 1 juntamente com suas respectivas cotas máximas e mínimas e amplitude média. Analisaram-se os dados, isoladamente, para a criação das séries temporais altimétricas. A localização das estações virtuais pode ser observada na Figura 1.

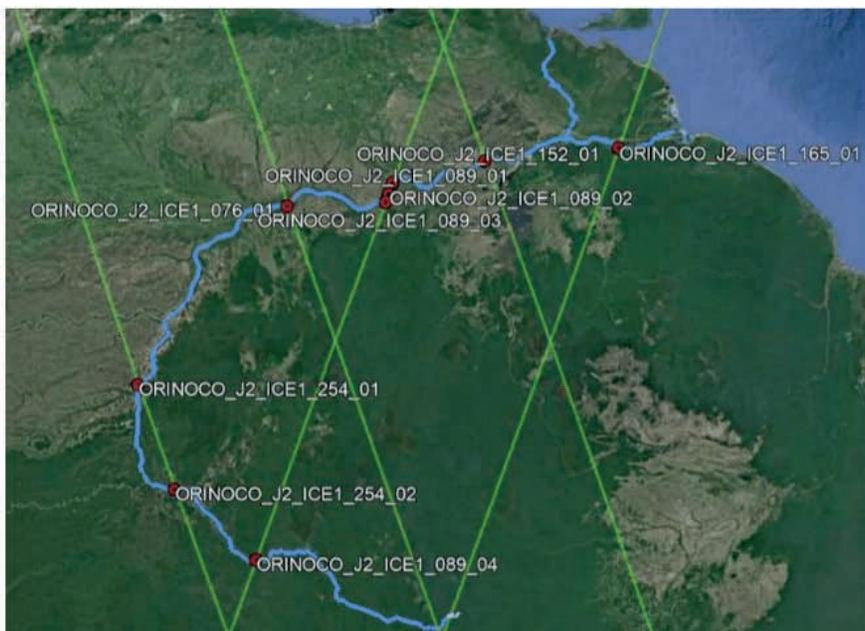



Figura 1 - Localização das Estações Virtuais no rio Orinoco. Pontos em vermelho correspondem às EVs e traços em verde representam a passagem do satélite Jason-2.

Nome da estação virtual	Latitude (°)	Longitude (°)	Total de Ciclos	Cota Mínima (m)	Cota Máxima (m)	Amplitude (m)	Distância da Foz (km)
ORINOCO_J2_ ICE1_165_01	8°29'9,60"N	61°26'7,80"O	215	2,77	4,67	2,40	93
ORINOCO_J2_ ICE1_152_01	8°17'59,28"N	63°13'32,16"O	90	68,06	83,23	15,17	329
ORINOCO_J2_ ICE1_089_01	8°0'41,04"N	64°26'39,84"O	300	10,01	22,01	12,00	492
ORINOCO_J2_ ICE1_089_02	7°51'59,76"N	64°29'50,28"O	260	11,42	23,28	11,86	526
ORINOCO_J2_ ICE1_089_03	7°45'35,28"N	64°32'11,04"O	227	12,10	25,08	12,98	545
ORINOCO_J2_ ICE1_076_01	7°42'7,56"N	65°50'30,48"O	284	20,39	32,44	12,05	715
ORINOCO_J2_ ICE1_254_01	5°20'30,12"N	67°49'10,20"O	301	58,80	68,80	10,00	1134
ORINOCO_J2_ ICE1_254_02	3°57'51,84"N	67°19'26,76"O	282	83,04	88,30	5,27	1342
ORINOCO_J2_ ICE1_089_04	3°2'46,32"N	66°14'17,52"O	227	101,71	105,33	3,62	1541

Tabela 1 – Discriminação das estações virtuais e amplitudes médias calculadas.

Através dos dados da Tabela 1 pode-se observar que à medida que o curso do rio se distancia da foz, há a redução dos valores da amplitude média, onde a estação virtual

ORINOCO_J2_ICE1_152_01, distante 329 km da foz, tem amplitude de 15,17 m, enquanto a última estação, ORINOCO_J2_ICE1_089_04, distante 1541 km da foz, tem amplitude de 3,62 m.

Os cotagramas elaborados para cada EV estão ilustrados na Figura 2, eles foram gerados intencionando analisar o comportamento do nível de água ao longo do ano, procurando avaliar a sazonalidade no intervalo de atividade do Jason-2, entre os anos de 2008 e 2016.

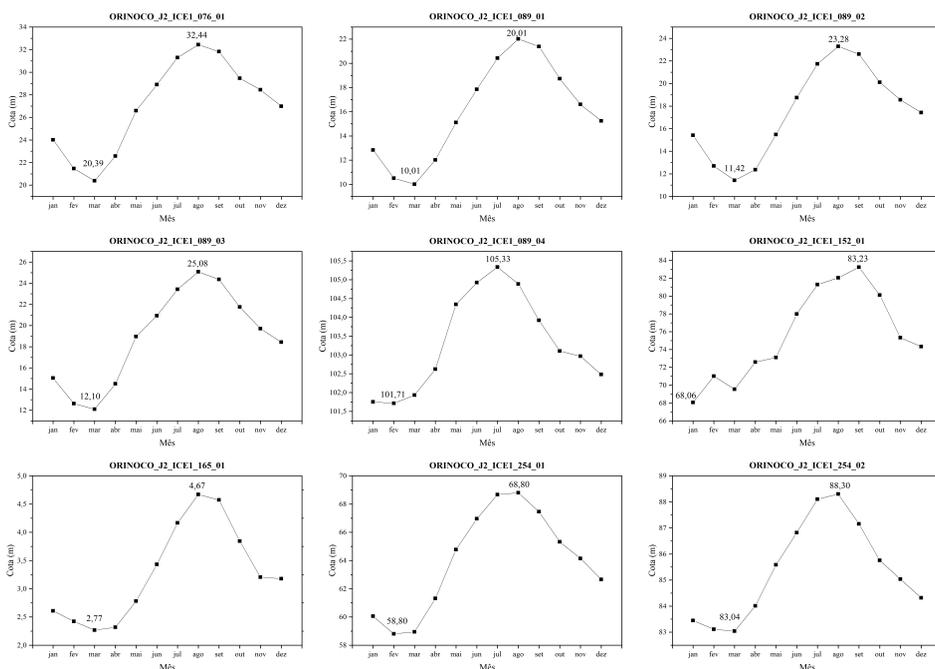



Figura 2 - Cotagramas das estações virtuais do rio Orinoco com identificação das cotas mínimas e máximas.

Na Figura acima pode-se identificar que o rio Orinoco apresenta dois períodos hidrológicos bem definidos ao longo do ano: (i) um período de vazante que se inicia em setembro podendo se estender até março, apresentando regularmente as cotas mínimas no mês de março; e (ii) um período de cheia, que abrange de abril a agosto, onde as vazões máximas são encontradas com maior frequência no mês de agosto. Tais resultados corroboram com Weibezahn (1990), que declara que a oscilação da zona de convergência intertropical (ZCIT) determina o regime pluvial e o clima da bacia do Orinoco, produzindo um clima sazonalmente tropical que compreende duas estações: uma chuvosa (maio a novembro) e uma seca (dezembro a abril).

Warne *et* al. (2002) afirmam ainda que os fluxos máximos ocorrem entre julho e

setembro e o pico de inundação é comumente registrado no final de agosto ou início de setembro. Fluxos mais baixos ocorrem entre fevereiro e abril, e o fluxo mínimo é observado durante o final de março e início de abril. Em concordância aos autores, através da Figura 2, verifica-se que os dados obtidos através da montagem dos cotagramas estão de acordo com a literatura, sendo possível identificar que 77,78% dos cotagramas tiveram o valor máximo anual no mês de agosto e 11,11% em julho e setembro, enquanto que 66,67% tiveram o valor mínimo anual no mês de março, 22,22% em fevereiro e 11,11% em janeiro.

4 I CONCLUSÃO

A avaliação da variabilidade sazonal do nível de água do rio Orinoco, na bacia hidrográfica do Orinoco, foi analisada por meio da utilização dos dados do satélite altimétrico Jason-2 e do programa MAPS, que permitiu a interpretação e seleção dos dados altimétricos, obtendo-se as medidas necessárias para a montagem dos cotagramas que possibilitaram a investigação do regime hídrico do Rio Orinoco.

O regime hidrológico visualizado através dos dados coletados permitiram inferir que o rio demonstrou ser bimodal, com dois períodos hidrológicos definidos ao longo do ano, com ascensões e recessões assimétricas ao longo do rio. Ressalta-se que diferentemente dos cotagramas das outras estações virtuais, o referente ao ORINOCO_J2_ICE1_152_01 possuiu comportamento diferente das outras séries, além de terem sido obtidos uma quantidade de dados altimétricos menores devido à presença de ilha e áreas molhadas por onde passa o satélite.

Foi possível ainda evidenciar os períodos que compreendem a vazante e a cheia, cujos picos ocorrem com maior frequência nos meses março e agosto, respectivamente. Salienta-se que o uso dos dados altimétricos do satélite Jason-2 são apropriados para regiões complexas, rios transfronteiriços e de difícil acesso, bem como escassez de dados *in situ*, complementando e otimizando a rede de estudos hidrológicos.

AGRADECIMENTOS

O Presente trabalho foi realizado com apoio do Laboratório de Recursos Hídricos e Altimetria Espacial da Amazônia (RHASA) que disponibilizou os dados das estações virtuais do satélite JASON 2. Agradecimentos à Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- CAPES e do Mestrado Profissional, em Rede Nacional, em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROFÁGUA e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM pelo apoio financeiro em forma de bolsa, disponibilizada para os autores Mateus Ferreira de Oliveira e Vinicius dos Santos Albuquerque.

REFERÊNCIAS

BERNER, E.; BERNER, R. *The Global Water Cycle*: Geochemistry and Environment. Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey, 1987.

BITTENCOURT, M. M.; AMADIO, S. A. Proposta para identificação rápida dos períodos hidrológicos em área de várzea do rio Solimões-Amazonas nas proximidades de Manaus. *Acta Amazônica*, v. 37, p. 303-308, 2007.

CALMANT, S.; SEYLER, F. Continental surface waters from satellite altimetry. *Comptes Rendus Geosciences,* v. 338. pp. 1113-1122, 2006.

CARBONELL LM. Expedicion 51: Descubrimiento de las fuentes del Orinoco. In: LOPEZ S. J. L.; SAAVEDRA C. I. I., DUBOIS M. M. *El Rio Orinoco Aprovechamiento Sustensable*, Instituto de Mecanica de Fluidos. Facultad de Ingenieria. Universidad Central de Venezuela, 1998.

DAMASCENO, J. A. *Monitoramento hidrológico da bacia do rio madeira por altimetria espacial.* 2017. 113p. Dissertação (Mestrado em Clima e Ambiente). Instituto de Pesquisas da Amazônia, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2017.

FILIZOLA, N.; GUYOT, J.-L.; WITTMANN, H.; MARTINEZ, J.-M.; OLIVEIRA, E. The Significance of Suspended Sediment Transport Determination on the Amazonian Hydrological Scenario. In: *Sediment Transport in Aquatic Environments*, InTech, Rijeka, 2011.

LARAQUE, A.; CASTELLANOS, B.; STEIGER, J.; LÒPEZ, J. L.; PANDI, A.; RODRIGUEZ, M.; ROSALES, J.; ADÈLE, G.; PEREZ, J.; LAGANE, C. A comparison of the suspended and dissolved matter dynamics of two large inter-tropical rivers draining into the Atlantic Ocean: the Congo and the Orinoco. *Hydrological Process*, v. 27, p. 2153–2170, 2013.

LEWIS, W. M.; SAUNDERS, J. F. Concentration and transport of dissolved and suspended substances in the Orinoco River. *Biogeochemistry*, v. 7, p. 203–240, 1989.

LÓPEZ, J. L., PEREZ-HERNANDEZ D. Some Morphological Aspects of the Orinoco River. *IAHR Symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics*. Genova, 1999.

MAPS, 2018. *Multi-mission Altimetry Processing Software*, Versão 2.2, 2018.

MARINHO, R. R. *Integração de dados de campo e sensoriamento remoto no estudo do fluxo de água e matéria no arquipélago de anavilhanas, rio Negro – Amazonas, brasil.* 2019. 160p. Tese (Doutorado em Clima e Ambiente), Universidade do Estado do Amazonas, Programa de Pós-graduação em Clima e Ambiente – CLIAMB, Manaus, 2019.

PAVLIS, Nikolaos. K.; HOLMES, Simon. A.; KENYON, Steve. C.; FACTOR, John. K. 2012. *An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008*, 2008.

SILVA LEÓN, G. La cuenca del río Orinoco: visión hidrográfica y balance hídrico. *Revista Geográfica Venezolana*, v. 46, p. 75–108, 2005.

SILVA, J. S. *Altimetria Espacial Aplicada aos Estudos de Processos Hídricos em Zonas Úmidas da Bacia Amazônica*. 2010. 279p. Tese (Doutorado em Ciências), UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2010.

SILVA, J. S.; CALMANT, S.; SEYLER, F.; ROTUNNO FILHO, O. C.; COCHONNEAU, G.; MANSOUR, W. J. (2010). Water levels in the Amazon Basin derived from the ERS 2 and ENVISAT radar altimetry missions. *Remote Sensing of Environment*. v. 114, pp. 2160-2181, 2010.

WARNE, A. G.; MEADE, R. H.; WHITE, W. A.; GUEVARA, E. H.; GIBEAUT, J.; SMYTH, R. C.; ASLAN, A.; TREMBLAY, T. Regional controls on geomorphology, hydrology, and ecosystem integrity in the Orinoco Delta, Venezuela. *Geomorphology*, v. 44, p. 273–307, 2002.

WEIBEZAHN, F. H. Water chemistry and suspended solids in the upper and middle Orinoco River. In: WEIBEZAHN, F.H., ALVAREZ, H., LEWIS, W.M. (Eds.), *The Orinoco River as an Ecosystem*. Impresos Rubel CA, Caracas, 1990.

CAPÍTULO 4

A PERDA DA COBERTURA VEGETAL NATURAL EM ÁREAS DE NASCENTES: IMPLICAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA

Data de submissão: 12/04/2023
Data de aceite: 02/05/2023

Wanderson Cleiton Schmidt Cavalheiro
Universidade Federal de Rondônia
Rolim de Moura – Rondônia
http://lattes.cnpq.br/3431914753490247

Marta Silvana Volpato Sccoti
Universidade Federal de Rondônia
Rolim de Moura – Rondônia
http://lattes.cnpq.br/8802033326043600

Jhony Vnedruscolo
Universidade Federal de Rondônia
Rolim de Moura – Rondônia
http://lattes.cnpq.br/4405434241565360

Jonathan Moreno Silva
Universidade Federal de Rondônia,
ProfÁgua Mestrado Profissional em Rede
Nacional em Gestão e Regulação de
Recursos Hídricos
Cacoal – Rondônia
http://lattes.cnpq.br/5574231472528340

RESUMO: A redução das florestas ao longo dos cursos d' água na região amazônica gerou mudanças na paisagem natural e ainda na redução dos serviços ecossistemicos promovidos por essa vegetação. A qualidade e quantidade de água para consumo e manutenção dos sistemas naturais tem sido alvo de discussões. Políticas públicas foram implementadas por meio de Leis, buscando assegurar o uso sustentável dos recursos hídricos. Nesse contexto, o presente capítulo visa analisar o impacto da perda de cobertura vegetal nativa na qualidade da água em nascentes, com base em coletas de amostras de água em propriedades rurais localizadas na sub-bacia do rio Branco em Rondônia. Foram coletadas amostras em 58 pontos, utilizando o sistema pareado de 29 nascentes em floresta nativa e 29 em pastagem, e analisado aos parâmetros pH, temperatura (T), condutividade, cor, Na+, K+, Oxigênio Dissolvido (OD), dureza, Sólidos Totais (ST), nitrato (NO3-), nitrito (NO2-), *Escherichia Coli* e termotolerantes. Além disso, foram utilizadas técnicas de estatística multivariada, como a análise de componentes principais. Os resultados obtidos demonstraram que a conversão de floresta nativa em pastagem impacta a qualidade da água, evidenciado por critérios selecionados na análise de componentes principais. As variáveis mais relevantes nas análises foram *Escherichia Coli*, termotolerantes, cor, K+ e condutividade. Diante disso, a recuperação das áreas de matas ciliares em áreas ocupadas por pastagens é recomendada como medida

para mitigar os impactos da pecuária no ecossistema aquático na sub-bacia do rio Branco. Bem como a união de todos os segmentos da sociedade em busca do mesmo objetivo, equilíbrio e sustentabilidade ambiental.
PALAVRAS-CHAVE: Recursos hídricos. Conversão do uso do solo. Sustentabilidade Ambiental. Recuperação de nascentes. Gestão ambiental.

THE LOSS OF NATURAL VEGETATION COVER IN SPRING AREAS: IMPLICATIONS FOR WATER QUALITY

ABSTRACT: The reduction of forests along watercourses in the Amazon region has generated changes in the natural landscape and a reduction in the ecosystem services provided by this vegetation. The quality and quantity of water for consumption and maintenance of natural systems have been the subject of discussion. Public policies have been implemented through laws, seeking to ensure the sustainable use of water resources. In this context, the present chapter aims to analyze the impact of the loss of native vegetation cover on water quality in springs, based on data obtained through water collection on rural properties located in the sub-basin of the Branco River in Rondônia, and also to bring to the discussion the issue of sustainability and its main actors. 58 exceptions were evaluated at different points, employing the paired system of 29 springs in native forest and 29 in pasture. For this evaluation, parameters such as pH, temperature (T), conductivity, color, Na+, K+, Dissolved Oxygen (DO), hardness, Total Solids (TS), nitrate (NO3-), nitrite (NO2-), Escherichia Coli, and thermotolerant were considered. In addition, multivariate statistical techniques, such as principal component analysis, were used. The results obtained demonstrated that the conversion of native forest into pasture impacts water quality, as evidenced by selected criteria in the principal component analysis. Based on a reduction of 13 variables to 5, representing 38.5% of the total variables, the most relevant characteristics are Escherichia Coli, thermotolerants, color, K+, and conductivity. Therefore, the recovery of riparian forest areas in areas occupied by pastures is recommended as a measure to mitigate the impacts of livestock on the aquatic ecosystem in the sub-basin of the Branco River. As well as the union of all segments of society in pursuit of the same goal of environmental balance and sustainability.
KEYWORDS: Water resources. Land use conversion. Environmental sustainability. Recovery of springs. Environmental management.

INTRODUÇÃO

Este capítulo é parte integrante da pesquisa de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambiêntais do primeiro autor e tem como objetivo analisar o impacto da perda da cobertura vegetal nativa na qualidade da água em nascentes.

A qualidade da água do rio depende das características naturais da paisagem, mas essa qualidade pode ser alterada devido a ações antrópicas como uso e ocupação do solo. A mudança na qualidade da água pode ser positiva quando são adotadas técnicas de manejo adequadas para a conservação dos recursos hídricos ou negativa quando manejadas indiscriminadamente. No estado de Rondônia, a expansão das atividades agropastoris tem

levantado preocupações sobre o impacto da ação antrópica e a sustentabilidade da região.

Dentre as atividades agropastoris, destaca-se a pecuária de corte no estado de Rondônia, com crescimento contínuo do rebanho de 41.030 cabeças em 1974 para 16.200.000 em 2022 (IDARON, 2022). A implantação da pecuária exige desmatamento, resultando na exposição do solo a possíveis processos erosivos, transporte de sedimentos, detritos orgânicos e inorgânicos para cursos de drenagem, consequentemente interferindo na qualidade da água (NETTO; RODRIGUES, 2013; AGHSAEI et al., 2020). Nesse contexto, há a necessidade de planejamento em áreas com atividade pecuária visando a conservação dos recursos hídricos, destacando-se a importância das bacias hidrográficas nesse processo.

A sub-bacia do rio Branco tem grande importância social, econômica, ambiental e cultural para o estado de Rondônia, onde ocorrem múltiplos usos da água, resultando em conflitos para discussão sobre a gestão adequada dos recursos hídricos. O manejo deve promover a melhoria ou manutenção da qualidade da água, e para isso são necessárias informações sobre os atributos químicos e físico-químicos da água em diversos tipos de cobertura do solo para entender o efeito antrópico na paisagem (QUEIROZ et al., 2010; LIMA e outros, 2016).

A avaliação dos dados de qualidade da água envolve muitas variáveis, cuja interpretação torna-se difícil e onerosa (SHRESTHA; KAZAMA, 2007). Uma das técnicas utilizadas quando há um grande número de parâmetros é a análise multivariada, que relaciona simultaneamente todas as variáveis estudadas, selecionando os atributos mais importantes para explicar a variação dos dados (HAIR Jr et al., 2013).

Nesse sentido, este estudo tem como objetivo avaliar e caracterizar as nascentes segundo a classe de qualidade da água, de acordo com os parâmetros estabelecidos no Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), regulamentado pela Lei nº 9.433/97, na sub-bacia do rio Branco e também trazer uma breve discussão sobre o papel de todos na sustentabilidade ambiental no que tange a recuperação áreas degradas, principalmente em nascentes.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na sub-bacia do rio Branco, localizada no estado de Rondônia (Figura 01), a qual está inserida na bacia do rio Guaporé, afluente do rio Madeira.

A região em questão apresenta características climáticas típicas do tipo Monção (Am), com temperatura média anual superior a 25°C e precipitação variando entre 1.564,5 a 1.843,7 mm durante 6 a 8 meses no ano (ALVARES et al., 2014 ; FRANCA, 2015). De acordo com o IBGE (2012), a vegetação predominante é formada pela Floresta Ombrófila Aberta.As atividades de econômicas da região estão fortemente relacionadas à produção de grãos de café e feijão, além da pecuária de corte e produção de energia

em oito (8) Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) (MMA, 2018). A presença de duas Terras Indígenas, Massaco e Rio Branco, juntamente com a Reserva Biológica do Guaporé e a Reserva Extrativista Pedras Negras (MMA, 2018), oferece um cenário de grande importância ecológica e cultural para o estado de Rondônia e para o Bioma Amazônico.

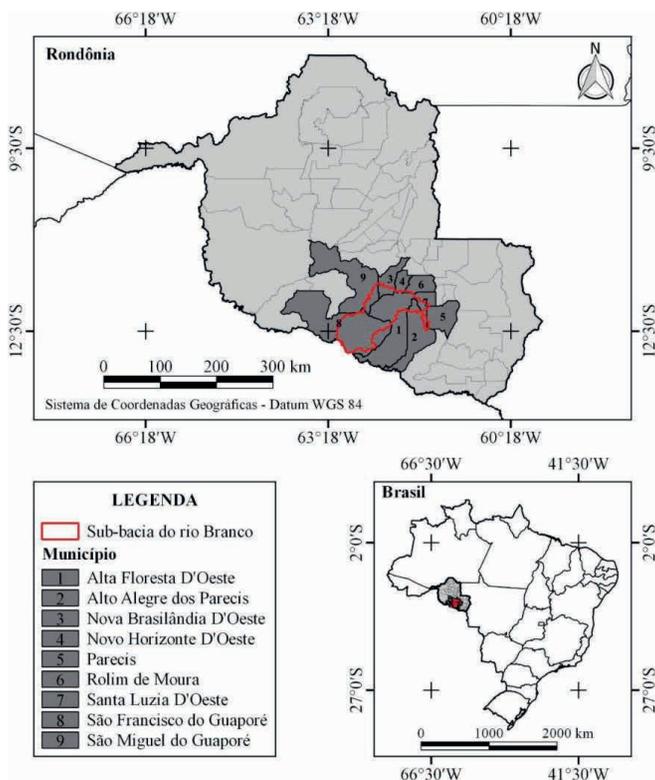



Figura 01 - Localização da sub-bacia do rio Branco no estado de Rondônia, (Fonte: Cavalheiro, 2018).

Qualidade da água das nascentes

As amostras para análise da qualidade da água foram coletadas em nascentes com cobertura de pastagem, por representar a principal atividade econômica na região e, portanto, apresentar risco de contaminação dos recursos hídricos (MARCHESAN et al., 2009), e em floresta nativa, por representar ambientes ecologicamente estáveis (TÓTOLA; CHAER, 2002).

Para a análise da qualidade da água, foram coletadas amostras pareadas em 58 nascentes, sendo 29 em floresta nativa e 29 em pastagem (Figura 02). As coletas foram realizadas entre os meses de setembro e outubro de 2017período de menor precipitação e menor vazão dos cursos de água.

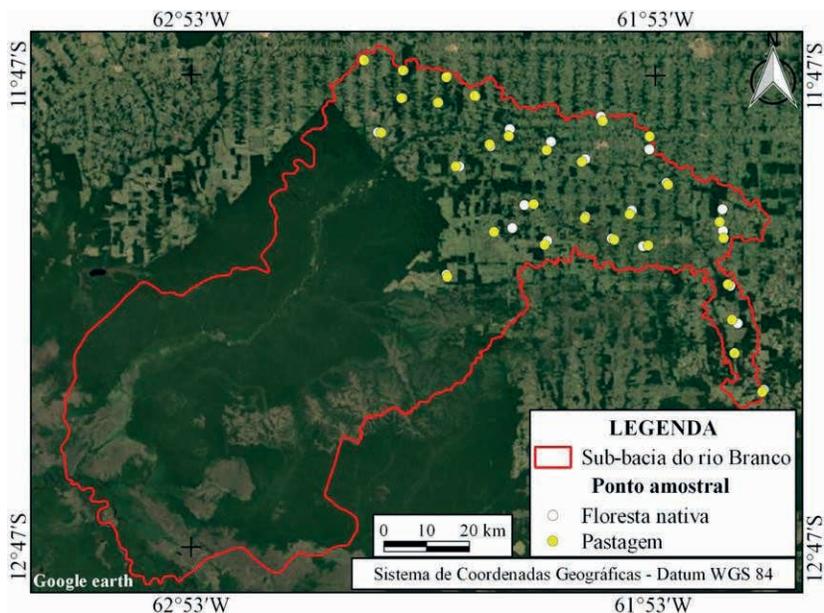



Figura 02 - Distribuição das amostras de água em nascentes localizadas em floresta nativa e pastagem, na sub-bacia do rio Branco, Rondônia, (Fonte: Cavalheiro, 2018).

Foram avaliados os seguintes parâmetros: pH, temperatura (T), condutividade, cor, Na+, K+, Oxigênio Dissolvido (OD), dureza, Sólidos Totais (ST), nitrato (NO3-), nitrito (NO2-), *Escherichia Coli* e termotolerantes. A metodologia de coleta e análise dos parâmetros químicos e físico-químicos seguiu as normas do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012).

A análise foram realizadas no Laboratório de Águas, na Universidade Federal de Rondônia, campus de Rolim de Moura, utilizando os equipamentos disponíveis, por métodos titulométricos e em equipamentos analíticos: Espectrofotômetro (Libra-Biochrom), colorímetro (AquaColor, DQC), pHmetro (MS TECNOPON, mPA – 210), condutivímetro (SANXIN, DDS– 11 C Cond Meter) e fotômetro de chama (Benfer/BFC-300). Sendo a temperatura da água e o oxigênio dissolvido medidos no momento da amostragem via medidor de OD/Temperatura portátil digital (Lutron/DO-5519). A análise microbiológica (termotolerantes e Escherichia Coli) foi realizada pela técnica da membrana filtrante. Os resultados foram comparados com a resolução do CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005), para avaliação da qualidade da água e posterior enquadramento em ambos ambientes.

Foi aplicada a estatística multivariada através da análise de componentes principais (ACP) para avaliar a importância de cada parâmetro e promover a seleção dos parâmetros mais importantes para a qualidade das águas nas nascentes estudadas. A análise foi realizada no software “R” versão 3.5.1 (R CORE TEAM, 2018). Para se eliminar o efeito de escala e unidades, a padronização dos dados processados foi realizada com a conversão

das variáveis para escores padrões.

A seleção do número de componentes seguiu os preceitos apresentados por Hair Jr. et al. (2013). Este critério fundamenta-se no fato de que qualquer componente deve explicar uma variância superior àquela apresentada por uma simples variável padronizada, que é um. Segundo Hair Jr. et al. (2013), ao se utilizar esse critério, selecionam-se as variáveis que apresentam coeficiente de determinação maior ou igual a 0,5.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise dos resultados

Com base na análise de componentes principaisa variância dos dados foi explicada por 4 componentes quetotalizaram 96% de variância acumulada (Figura 03).

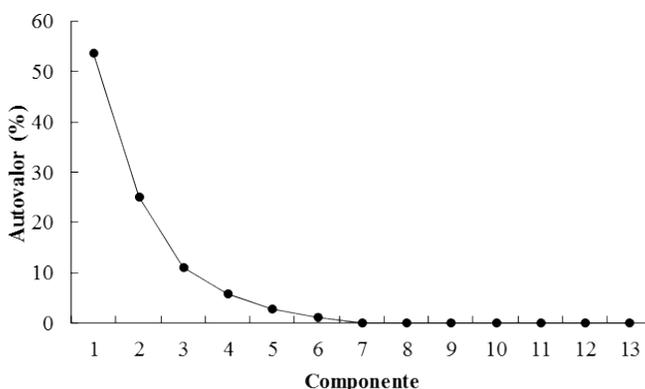



Figura 03 - Análise de Componentes Principais: autovalores e proporção da variância explicada por cada componente (%), dos parâmetros químicos e físico- químicos da água de nascentes na sub-bacia do rio Branco, Rondônia (Fonte: Cavalheiro,2018).

No primeiro componente principal as variáveis termotolerantes, Escherichia coli, cor e potássio foram as que mais influenciaram a variação dos dados; no segundo componente, as variáveis cor, potássio, condutividade e termotolerantes; na terceira, as variáveis *Escherichia coli*, potássio e cor; e no quarto componente, as variáveis potássio, condutividade e termotolerantes (Figura 04). De forma geral, ao considerar a porcentagem da variância das componentes principais para obtenção de uma média ponderada, constatou-se que os parâmetros mais importantes foram *Escherichia coli*, termotolerantes, cor, potássio e condutividade, respectivamente.

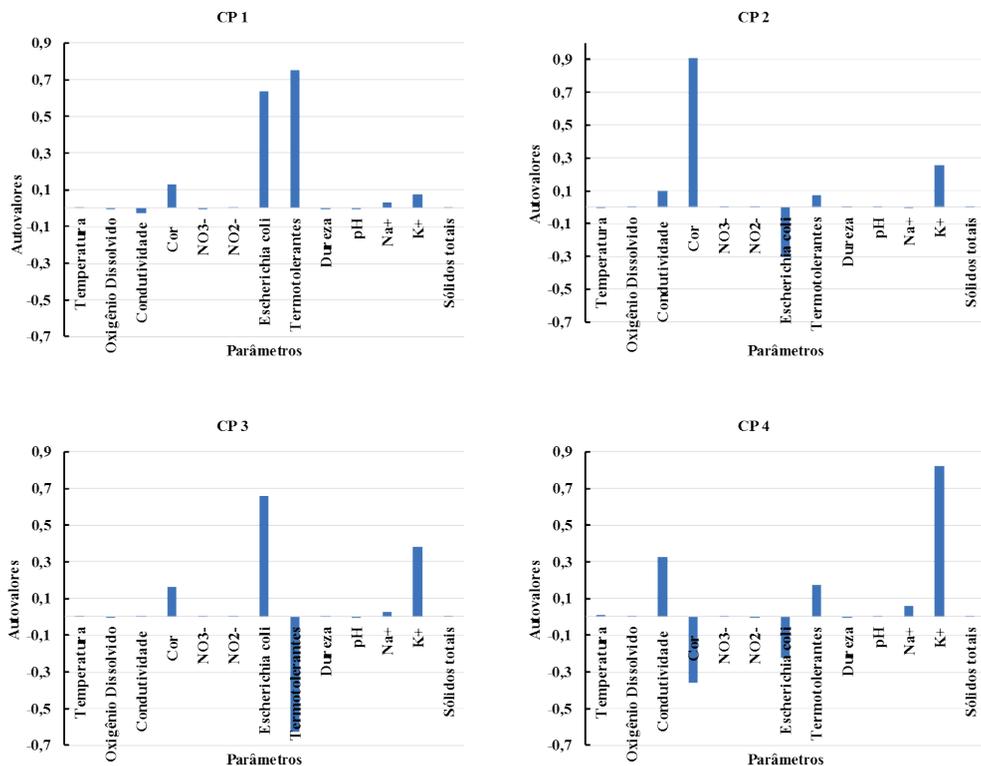



Figura 04 – Importância dos parâmetros químicos e físico-químicos em nascentes na sub-bacia do rio Branco, Rondônia (Fonte: Cavalheiro,2018).

Os valores observados para *Escherichia Coli* demonstraram um aumento de 598,48% quando retirada a floresta nativa e introduzida a pastagem. *Escherichia Coli*são bacterias do grupo termotolerante cujo habitat exclusivo é o intestino humano e de animais homeotérmicos (como bovinos, por exemplo), onde ocorrem em densidades elevadas (BRASIL, 2010). As principais consequências para saúde humana estão associadas com doenças gastrointestinais.

Nesse contexto, considerando que os principais meios de contaminação são por ingestão de água contaminada ou alimentos infectados, observa-se o potencial de propagação de doenças relacionadas a *E. Coli*, tanto nas propriedades rurais e urbanas, quanto nas comunidades tradicionais localizadas nas Terras Indígenas Rio Branco e Massaco, sendo essas últimas localizadas na parte baixa da sub-bacia do rio Branco.

A água potável não deve conter coliformes termotolerantes (FORTUNA et al., 2007). Os coliformes termotolerantes são bactérias gram-negativas e em forma de bacilos, ocorrendo ainda em solos, plantas ou matrizes ambientais que tenham sido contaminados por material fecal (Brasil, 2005). Esse parâmetro pode ser utilizado como bioindicador para avaliação da qualidade da água para consumo humano, como descrito por Sá et al. (2005) ao avaliar a qualidade da água na área urbana do município de Belém do Pará - PA, ou até

mesmo para irrigação, como mencionado por Araújo et al. (2015) ao analisar a qualidade da água utilizada para irrigação, em Teresópolis – RJ.

Os resultados dos coliformes termotolerantes comprovam à necessidade de realizar processos de tratamentos da água, quando a água é proveniente de áreas com pastagem ou até mesmo de florestas nativas, para que a mesma seja destinada ao consumo humano, com a finalidade de prevenir a ingestão de águas com agentes microbianos que podem ser potenciais causadores de doenças para a população. E a necessidade de realizar o tratamento dessa água antes do uso na irrigação, acompanhado de monitoramento periódico na qualidade, de modo que não haja possibilidade de contração de doenças pelos consumidores das frutas, hortaliças, produzidas na sub-bacia do rio Branco.

A cor é um parâmetro utilizado como padrão de classificação de águas doces. Na classe 1 considera-se a cor natural do corpo de água em mg Pt L-1, e nas classes 2 e 3 têm-se o limite de 75 mg Pt L-1 (Brasil, 2005). Com base neste contexto, verifica-se que 31,03% das nascentes localizadas em floresta nativa se enquadram nas classes de 1 a 3, assim como 17,24% das nascentes com cobertura de pastagem.

Os teores de K aumentaram 70,31% quando retirada a floresta para utilização de pastagens. O aumento dos teores de K está relacionado com as fezes e urinas dos bovinos, tendo em vista o elevado teor desse elemento nas excretas, aproximadamente 10 g L-1 segundo Araújo et al. (2017). O K é facilmente lixiviado para o lençol freático, ou carregado diretamente para nascentes e cursos de água pelo escoamento superficial, principalmente nos períodos de alta pluviosidade (FERREIRA et al., 2009). Apesar de não contaminar os recursos hídricos, a presença de potássio proveniente de fezes de animais pode indicar a presença de contaminação microbiológica. Além disso, implica também o aumento da condutividade observada.

Para condutividade elétrica da água verificou-se influência de altas concentrações de sais, como potássio, elevando a condutividade na água de nascentes com cobertura de pastagem. Foi observado por Bertol et al. (2007), em estudo avaliando as perdas de solo, água e nutrientes das culturas na erosão entre sulcos, em solo cultivado sob diferentes preparos de solo e adubações, notaram que os valores mais elevados de condutividade elétrica da água de enxurrada foram obtidos nos tratamentos com adubação orgânica seguidos da adubação química com NPK.

Os resultados apresentados neste estudo destacam a importância de considerar a sustentabilidade no uso de recursos naturais, como a água, na sub-bacia do rio Branco. O aumento de 598,48% na presença de *Escherichia coli* demonstra o potencial de disseminação de doenças relacionadas aos mananciais contaminados, afetando áreas rurais e urbanas, bem como comunidades tradicionais localizadas nas Terras Indígenas Rio Branco e Massaco. A presença de coliformes termotolerantes na água é um importante bioindicador para avaliação da qualidade da água e do potencial de disseminação de doenças relacionadas a patógenos de veiculação hídrica. Os resultados deste estudo

destacam a necessidade de processos de tratamento de água em áreas com pastagens e enfatizam a importância do monitoramento da qualidade da água tanto para consumo humano quanto para irrigação.

Nesse sentido, práticas de manejo sustentável que visam reduzir o impacto das atividades humanas sobre os recursos naturais, como reflorestamento e manejo de pastagens, são necessárias para manter a qualidade da água e preservar os ecossistemas da sub-bacia do rio Branco. Esses resultados contribuem para a compreensão do impacto do uso do solo na qualidade da água, principalmente em regiões onde a população é altamente dependente dos recursos naturais para sua subsistência.

CONCLUSÕES

A análise de componentes principais possibilitou a redução do número de variáveis que representam a qualidade da água. Foram selecionadas 5 das 13 variáveis, ou seja, a qualidade da água das nascentes e pastagem são representadas por 38,5% das variáveis, correspondentes aos parâmetros de *Escherichia Coli*, termotolerantes, cor, K^+ e condutividade. Com base nestes parâmetros, a conversão de floresta nativa para pastagem reduz a qualidade da água, sendo recomendada a recuperação das áreas de matas ciliares em áreas ocupadas por pastagens, para mitigação dos impactos da pecuária no ecossistema aquático na sub-bacia do rio Branco.

Diante dos argumentos apresentados e das evidências científicas, é possível concluir que a questão ambiental é um desafio cada vez mais urgente e complexo. O papel do órgão ambiental competente é essencial na promoção da sustentabilidade e na proteção dos recursos naturais.

A responsabilidade do órgão ambiental não se limita a fiscalização e aplicação de multas, mas também inclui ações preventivas e educativas para a conscientização da população e das empresas sobre a importância da preservação ambiental. É preciso que o órgão ambiental trabalhe em conjunto com outros setores da sociedade, como o setor empresarial e a comunidade, para promover o desenvolvimento sustentável e buscar soluções inovadoras para os desafios ambientais.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M. &SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, jan. 2014.

APHA - **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. American Public Health Association, 22nd ed. New York, APHA, AWWA, WPCP, 2012.

ARAÚJO, A. N.; PINHO, D. M.; LOBATO, A. A. C.; TRZECIACK, L. S. **Análise morfométrica de quatro sub-bacias hidrográficas do Rio Gurupi na Amazônia Orienta**l. Ciência e Sustentabilidade, Juazeiro do Norte, v. 3, n. 2, p. 83-99, jul./dez. 2017.

ARAÚJO, F. V. de; VIEIRA, L.; JAYME, M. M. A.; NUNES, M. C. & CORTÊS, M. **Avaliaçãoda qualidade da água utilizada para irrigação na bacia do Córrego Sujo**, Teresópolis, RJ.Cadernos Saúde Coletiva, Rio de Janeiro, v. 23, n. 4, p. 380-385, out./dez. 2015.

BERTOL, O. J.; RIZZI, N. E.; BERTOL, I.; ROLOFF, G. **Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.31, p:781-792, jan. 2007.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 21 outubro 2016.

BRASIL. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, **dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras** providências. v. 357, 2005. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acessado em: 12 de agosto de 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde e Secretaria de Vigilância em Saúde. **Doenças infecciosas e parasitárias**: guia de bolso. 5 ed. amp. Brasília: Ministério da Saúde, 2010. 320 p.

CAVALHEIRO, Wanderson Cleiton Schmidt. **AVALIAÇÃO AMBIENTAL COMO SUBSIDIO PARA O PLANEJAMENTO E GESTÃO DA SUB-BACIA DO RIO BRANCO, RONDÔNIA**. 2018. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Fundação Universidade Federal de Rondônia, Rolim de Moura, 2018.

FERREIRA, E. V. O.; ANGHINONI, I; CARVALHO, P. C. F., COSTA, S. E. V. G. A.; CAO,E. G. **Concentração do potássio do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, n. 6, p. 1675-1684, dez. 2009.

FORTUNA, J.L.; RODRIGUES, M.T.; SOUZA, S.L.; SOUZA, L. **Análise microbiológica da água de bebedouros do campus da Universidade Federal de Juiz de Fora**: coliformes totais etermotolerantes. Revista Higiene Alimentar, Mirandópolis, v.21, n.154, p.103-105, jul./ago. 2007.

FRANCA, R.R. **Climatologia das chuvas em Rondônia–período 1981-2011**. Revista Geografias, Belo Horizonte, v. 1, n.20, p. 44-58, jan./jun. 2015.

HAIR Jr, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E. **Multivariate data analysis.**7th ed., Pearson Education Limited: United Kingdom, 2013, 739p.

HELEN AGHSAEI, NAGHMEH MOBARGHAEE DINAN, ALI MORIDI, ZAHRA ASADOLAHI, MAJID DELAVAR, NICOLA FOHRER, PAUL DANIEL WAGNER, **Effects of dynamic land use/land cover change on water resources and sediment yield in the Anzali wetland catchment, Gilan, Iran**, Science of The Total Environment, Volume 712, 2020, 136449, ISSN 0048-9697, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136449.

IDARON – Agência de Defesa Sanitária Agrosilvopastoril do Estado de Rondônia: **Rebanho de RO ultrapassa as 16,2 milhões de cabeças e continua sendo o maior do Brasil nas áreas reconhecidas como livre de aftosa sem vacinação.** Disponível em:<http://www.idaron.ro.gov.br/index.php/2022/02/24/rebanho-de-ro-ultrapassa-as-162-milhoes-de-cabecas-e-continua-sendo-o-maior-do-brasil-nas-areas-reconhecidas-como-livre-de-aftosa-sem-vacinacao/>. Acesso em 06 de abril de 2023.

LIMA, R, N, S; RIBEIRO, C, B, M; BARBOSA, C, C, F; FILHO, O, C, R. **Estudo da poluiçãopontual e difusa na bacia de contribuição do reservatório da Usina Hidrelétrica do Funil utilizando modelagem espacialmente distribuída em Sistema de Informação Geográfica. Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 1, p. 139-150, jan./mar. 2016.

MARCHESAN, E., SARTORI, G.M.S., REIMCHE, G.B.., AVILA, L.A., ZANELA, R., MENDONÇA, F.; LEITÃO, S. A. M. **Riscos e vulnerabilidade socioambiental urbana: uma perspectiva a partir dos recursos hídricos**. GeoTextos, Salvador, v. 4, n. 1-2, p. 145-163, jan./dez. 2008. DOI: http://dx.doi.org/10.9771/1984-5537geo.v4i0.3300

MM - MOTT MACDONALD. **Avaliação Ambiental Integrada da Sub-bacia do Rio Branco (RO)**. Rio de Janeiro: Mott MacDonald, 2018. 970 p.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Unidades de Conservação**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs/consulta-por-uc>. Acesso em: 14 de set. de 2018.

NETTO, F. M. L.; RODRIGUES, S. C. **Estudo sobre a qualidade hídrica da bacia hidrográfica do córrego Terra Branca, Uberlândia (MG)**. Caderno de Geografia, Uberlândia, Belo Horizonte, v. 23, n. 39, p. 13-21, jan./jun. 2013.

QUEIROZ, M. M. F.; IOST, C.; GOMES, S. D.; VILAS BOAS, M. A. **Influência do uso dosolo na qualidade da água de uma microbacia hidrográfica rural. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentáve**l, Mossoró, v. 5, n. 4, p. 200-210, out./dez. 2010.

R CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2018. Disponível em: <https://www.R- project.org/>. Acesso em: agosto de set. de 2018.SÁ, L. L. C.; JESUS, I. M.; SANTOS,

SÁ, L. L. C.; JESUS, I. M.; SANTOS, E. C. O.; VALE, E. R.; LOUREIRO, E. C. B.; SÁ, E.V. **Qualidade microbiológica da água para consumo humano em duas áreas contempladas com intervenções de saneamento** - Belém do Pará, Brasil. Epidemiologia e Serviços de Saúde, Brasília, v. 14, n. 3, p. 171-180, set. 2005.

SHRESTHA, S.; KAZAMA, F. **Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques**: A case study of the Fuji river basin, Japan. Environmental Modelling & Software, Utah, v. 22, n. 4, p. 464-475, apr. 2007.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. **Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos**. Tópicos em ciência do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 2, p. 195-276, jan. 2002.

ANÁLISE DE RISCO SOCIAL À INUNDAÇÃO NA CIDADE DE RIO BRANCO - ACRE

Data de aceite: 02/05/2023

Andressa Nunes Callado
http://lattes.cnpq.br/5342763522830910

Hevelyn Gomes Bezerra Calheiros
http://lattes.cnpq.br/4075032199002673

1 I INTRODUÇÃO

Desde o surgimento da vida em sociedade, os desastres naturais têm gerado grandes impactos negativos para a humanidade devido a ocupação de áreas vulneráveis ou da incapacidade de responder aos mesmos. Nos últimos anos, pode-se observar um aumento no número de desastres relacionados aos fenômenos climáticos na região norte do Brasil, em especial no Acre, conforme destacado por pesquisadores que estudaram as inundações e seus danos na região (MENDONÇA et al., 2015; ROCHA et al., 2017).

Segundo Tucci (1995), as inundações de rios, riachos e galerias pluviais ocorrem devido ao desenvolvimento urbano, ocasionando a saída do leito natural de escoamento em direção às áreas utilizadas inadequadamente pela população ribeirinha. Sabe-se que desde 1988, a bacia hidrográfica do Rio Acre vem registrando grandes eventos de inundações, que ocorreram nos anos de 1988, 1997, 2006, 2012, 2014 e 2015, destacando-se a inundação que ocorreu no ano de 2015, evento esse que desabrigou inúmeras famílias e acarretou grandes prejuízos.

No início do ano de 2021, uma nova inundação de grande proporção foi registrada no estado do Acre intensificando os problemas urbanos do estado que já vinha enfrentando uma situação de emergência pública, uma vez que, encontrava-se em meio a uma pandemia viral, registrava surtos de dengue e enfrentava ainda uma crise migratória na fronteira, expondo assim a vulnerabilidade social da população residente nesta região.

Segundo Silva Jr (2010), o mapeamento de inundação é utilizado para o planejamento de ações para amenizar os danos à sociedade, tanto materiais quanto

sociais, e aplicar medidas de controle e prevenção de eventos de inundação. Portanto, a leitura e interpretação destes dados são de suma importância para a sociedade.

Por meio deste mapeamento de inundações juntamente com variáveis sociais, é possível realizar a análise de risco de cada região e utilizar essa informação para atuar preventivamente nas áreas suscetíveis às inundações na cidade a fim de evitar transtornos socioeconômicos que tais eventos provocam.

A definição de vulnerabilidade, de acordo com Aquino et al. (2017), não se caracteriza apenas na questão social, mas também ambiental e socioambiental, de modo a buscar analisar e estimar os riscos em áreas afetadas, utilizando como base a insegurança gerada pelos eventos que podem acometer a população, gerando assim a fatores que levam riscos à vida. Já a vulnerabilidade ambiental, analisa o risco no qual o ambiente está inserido, podendo ser gerado de forma natural ou por razões externas. Por último, o que compreende aspectos ambientais e sociais, pode ser definida como vulnerabilidade socioambiental.

Desta forma, o presente estudo teve como objetivo estudar as características físicas da bacia do Rio Acre para um melhor entendimento da resposta desta bacia às chuvas intensas registradas em 2015 e 2021, que culminaram nas inundações de grandes proporções registradas nestes mesmos anos, de modo a, finalmente, realizar uma análise de risco da vulnerabilidade social nas quais as áreas ribeirinhas, mais afetadas durante as últimas inundações na cidade de Rio Branco – AC, estão expostas.

2 | OBJETIVOS

2.1 Geral

Analisar o risco das áreas inundadas às margens da bacia hidrográfica do rio Acre (BR/BO/PE), mais precisamente na cidade de Rio Branco, a partir das manchas de inundação obtidas através da literatura a respeito dos eventos registrados em 2015 e 2021.

2.2 Específicos

- Caracterizar a da área de estudo fisiográfica;
- Utilizar as manchas de inundação da região elaboradas pela CPRM;
- Adquirir dados pluviométricos e fluviométricos da área de estudo;
- Analisar os riscos das áreas frequentemente inundadas no município de Rio Branco, de acordo com o histórico de inundações e nas áreas mais vulneráveis.

3 I REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 SRTM

De acordo com Carvalho (2008), as novas geotecnologias geram grande impacto nas metodologias de estudos ambientais, pois geram maior agilidade, precisão, objetividade e consistência aos dados que são utilizados para tomada de decisões.

O mapeamento do território brasileiro foi iniciado pelo exército nos anos 60 sendo atualmente responsabilidade do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da Diretoria do Serviço Geográfico (DSG), contudo, devido à extensão territorial do país e a diferentes problemas, como o alto custo destes mapeamentos, ainda existem áreas com vazios de informações e mapeamento em escala adequada para estudos ambientais, por exemplo. Sendo que apenas os mapeamentos de escala 1:1.000.000 conseguiram atingir 100% do território brasileiro. (LÖBLER et al, 2013)

Desta forma, conforme destacado por Löbler et al (2013), o satélite SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) foi lançado com o objetivo de completar os vazios encontrados nos mapeamentos feitos pelo exército, além de obter dados altimétricos da terra para a elaboração de pesquisas geológicas, hidrológicas, geomorfológicas e de diversas outras áreas que visam caracterizar a superfície terrestre.

Ademais, segundo a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), os dados são distribuídos em formato raster[1] pelo EROS Data Center[2], controlado pelo USGS (United States Geological Survey) e podem ser acessados em formato HGT[3], com resolução radiometria de 16 bits. Os MDEs (Modelos Digitais de Elevações) gerados oferecem resolução vertical de 30 m para os Estados Unidos e 90 m para as outras localidades.

Por fim, conforme destacado pelo USGS (United States Geological Survey), o satélite SRTM voou a bordo do ônibus espacial Endeavour de 11 a 22 de fevereiro de 2000 utilizando a interferometria de passagem única. Essa ferramenta permite a aquisição de duas imagens ao mesmo tempo usando duas antenas de radar, uma localizada no ônibus espacial Endeavour e a outra em um mastro de 60 metros que se estendia do ônibus espacial, ao passo em que as diferenças entre os sinais, permitia o cálculo da elevação da superfície.

3.2 Análise de Risco

Segundo Aquino et al (2017), a análise de risco é uma metodologia de avaliação para verificar a ocorrência de consequências em relação aos eventos climáticos, onde diversas teorias avaliam os impactos, as probabilidades de ocorrência e os riscos envolvidos,

1 Raster: Os dados raster são compostos por linhas horizontais e verticais de pixels, em que cada pixel representa uma região geográfica, e o valor do pixel representa uma característica dessa região.
2 EROS Data Center: Sistema de Observação de Recursos Terrestres, usado para gerenciar e distribuir os dados gerados por missões que lidam com superfícies e processos terrestres.
3 Formato HGT: Extensão de arquivo associada ao satélite SRTM compatíveis com aplicativos GIS.

apontando as áreas de ameaça, pontuando as vulnerabilidades e obtendo informações para possíveis formas de prevenção.

Ao proceder com a análise desses fatores, é possível realizar uma preparação e planejamento desses locais que frequentemente sofrem com as cheias, realizando o mapeamento das áreas inundadas, visando garantir a prevenção e fiscalização de futuros danos à sociedade e ao meio.

O crescimento desordenado da população afeta diretamente a impermeabilização do solo, a diminuição da vegetação, contaminação do solo e dos rios, pois, na maioria das vezes, a residência desta população é construída de forma inadequada e em local inapropriado fazendo uma alteração no sistema natural, aumentando a possibilidade de inundações nessas regiões.

Diante disso, considera-se que a inundação tem sua relação com inúmeros fatores, sendo um deles a ocupação desordenada da população que preenche toda planície ribeirinha dos rios e a cada ano aumenta essa ocupação nos locais irregulares. O risco se relaciona a toda a questão de ameaças que existem em determinados locais, nos quais podem deixar alguém ou algo mais vulnerável exposto às situações de perigo, causando um desastre tanto econômico quanto social na vida do ser humano.

As situações socioeconômicas, estão ligadas à vulnerabilidade que se relaciona com as finanças, a moradia e a entrada das pessoas no meio social. A vulnerabilidade em si, relaciona-se à existência dos riscos com a habilidade que o homem pode se desenvolver no meio de todas as dificuldades que possam surgir diante de diversas calamidades, tendo como exemplo as inundações.

De acordo com Aquino et al (2017), o conceito de vulnerabilidade pode ser abordado do ponto de vista ambiental, ou ainda socioambiental, em que aborda o risco ao meio ambiente, sendo este natural ou causado por fatores externos, enquanto a vulnerabilidade social está atrelada com as mudanças bruscas e significativas que ocorrem na vida da população que vive em locais de risco, causando danos à educação, à saúde, à cultura, ao lazer e ao trabalho.

A vulnerabilidade social de uma população pode ter relação com o meio em que vive e, devido ao avanço das tecnologias, é possível criar um mapa de risco para proporcionar aos pesquisadores representações de perigos ambientais, que podem vir a ocorrer em determinados períodos, no qual se tem como propósito, auxiliar trabalhadores, visitantes, governantes e dirigentes da cidade quanto aos perigos existentes no local por meio de agentes físicos, químicos, biológicos ou acidentais.

Destarte, o mapa de risco tem como dever informar as pessoas a respeito dos perigos existentes nos locais, para que se possa estar preparado para os possíveis efeitos, aplicando-se de maneira que minimize acidentes e proteja a saúde e o bem-estar de todas as pessoas por meio de buscas de dados e fatos anteriormente ocorridos nos locais, planejando a urbanização, evitando a ocupação irregular, bem como a propagação de

doenças e perdas imensuráveis.

4 | METODOLOGIA

A metodologia utilizada para analisar o risco das inundações que acontecem no estado do Acre, especialmente na cidade de Rio Branco, caracteriza-se com a aquisição de dados e análise de risco, como é exposto na Figura 1, para melhor compreensão das etapas executadas.

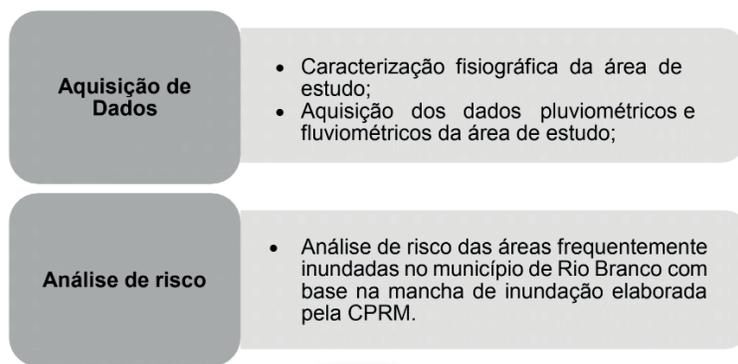



Figura 1 - Metodologia empregada na análise de risco do município de Rio Branco (AC).

Fonte: Elaborada pelas autoras (2021).

4.1 Caracterização da Bacia

A obtenção dos dados e características da Bacia do Rio Acre, orientaram- se a partir de um MDE adquirido através do Earthdata, um dos repositórios para armazenamento de informações espaciais de responsabilidade da agência espacial americana NASA, detentora de um banco de dados topográfico do mundo. No presente estudo, utilizou-se os dados do projeto SRTM Versão 4, que correspondem a imagens de radar com resolução espacial de 30 metros ou 0.0002778 arcos de segundo.

Enquanto representação digital e a possibilidade de tratamento em ambiente SIG (Sistemas de Informações Geográficas), entende-se por MDE arquivos que contêm registros altimétricos estruturados em linhas e colunas georreferenciadas, como uma imagem com um valor de elevação em cada pixel. Os registros altimétricos devem ser valores de altitude do relevo, idealmente, para que o MDE seja uma representação da topografia (VALERIANO, 2008).

Para o tratamento dos dados obtidos utilizou-se o software livre de geoprocessamento QGis versão 3.16.1 with Grass 7.8.4, um SIG desenvolvido pela OSGeo (Open Source Geospatial Foundation) que permite a visualização, edição e análise de dados

georreferenciados.

A respeito da caracterização da bacia hidrográfica, Viessmann (1977) define a bacia hidrográfica como uma área que é determinada por métodos topográficos, possuindo cursos de água no qual tem sua vazão despejada em apenas um determinado local de modo simples denominado de exultório da bacia.

Para a delimitação da bacia hidrográfica do rio Acre, utilizou-se 20 (vinte) cenas (S09W067, S09W068, S09W069, S09W070, S09W071, S10W067, S10W068, S10W069, S10W070, S10W071, S11W067, S11W068, S11W069, S11W070, S11W071, S12W067, S12W068, S12W069, S12W070 e S12W071) (Figura 2), adquiridas no banco de dados da NASA ao englobar a bacia hidrográfica do rio Acre. Ao manusear o QGis, foi definido o sistema de referência de coordenadas (SRC), que define como o mapa bidimensional projetado se relaciona com locais reais na terra, adotando-se como referência o sistema de coordenadas geográficas mundial WGS 84.

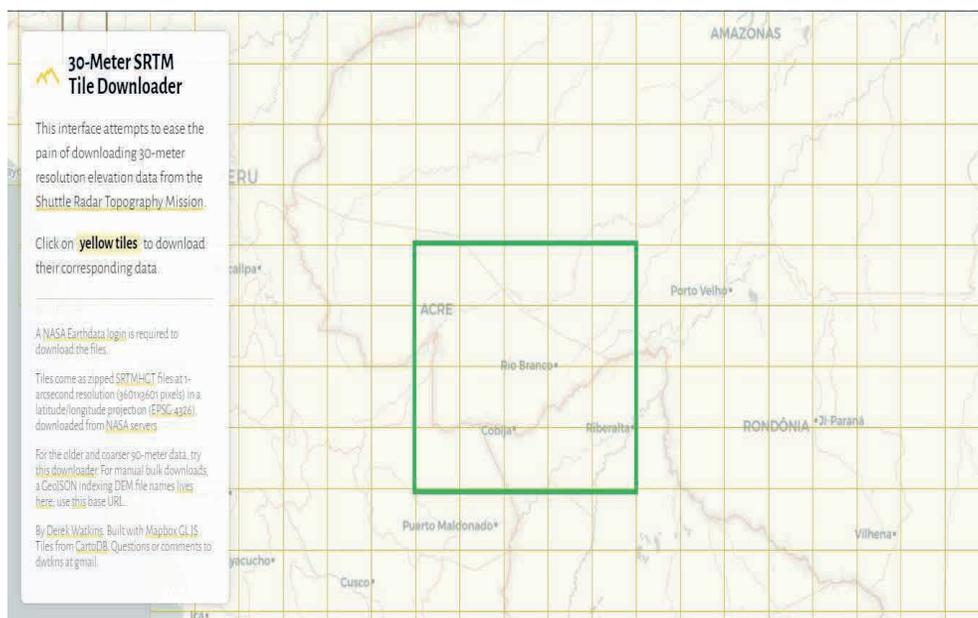



Figura 2 - Localização geográfica da bacia hidrográfica do rio Acre em relação às cenas do SRTM utilizadas.

Fonte: Elaborada pelas autoras (2021).

Com as configurações definidas, deu-se início ao processamento do MDE necessário para estudo da região, sendo o primeiro passo referente ao recorte das cenas obtidas utilizando um gabarito das bacias disponibilizado pelo IBGE, de modo a facilitar a delimitação da bacia do Rio Acre.

Ainda dentro do software QGis 3.16, com a bacia delimitada, pode-se definir o

comprimento axial, por meio da criação de um *shapefile* de linha, e calcular o perímetro da bacia, utilizando a ferramenta *Calculadora de atributos*.

Para a caracterização da forma da bacia, utilizou-se o coeficiente de compacidade (Kc) ou índice de Gravelius, razão entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia, como mostra a

Equação *1*; e o fator de forma (Kf), relação da largura média da bacia e o comprimento do eixo da bacia (da foz ao ponto mais longínquo da área), podendo ser obtido pela Equação *2*.

$$Kc = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$$ *Equação 1*

Onde: Kc é o coeficiente de compacidade, P é o perímetro (km) e A é a área da bacia (km²).

$$Kf = \frac{A}{L^2}$$ *Equação 2*

Onde: Kf é o fator de forma, A é a área da bacia (km²) e L é o comprimento axial da bacia (km).

Com a importação do arquivo denominado *geoft_bho_rio,* disponibilizado pelo IBGE e que traz a representação de todos os principais rios do Brasil, foi possível obter através da sua tabela de atributos as informações de todos os rios e igarapés presentes em todo o Brasil. Entretanto, como o estudo compreende apenas a bacia do rio Acre, recortou-se somente os rios e igarapés correspondentes a essa bacia.

Para traçar o perfil longitudinal do rio principal, foi utilizado o QGis através do comando Terrain Profile e a seleção do rio. Através do perfil longitudinal, é possível identificar a cota de início (H0) e do fim do trecho (Hf) do rio principal e dividir pelo seu comprimento (Lt), que já foi calculado, obtendo assim a declividade (S) do mesmo Equação 3.

$$S = \frac{(Hf - H0)}{Lt}$$ *Equação 3*

Com o auxílio das ferramentas do QGis, foi extraído do MDE o mapa hipsométrico da região (Figura 7), informação essa que representa a variação da elevação de um terreno por meio de cores. A determinação desse parâmetro é importante, visto que ele pode interferir na intensidade de escoamento, devido à influência que exerce na distribuição da vegetação, nos tipos de solos, no clima e, consequentemente, na rede de drenagem (DUARTE, 2006).

4.2 Área de Estudo

De acordo com a CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), a bacia do Rio Acre está localizada 79% no Acre, 8% no Amazonas, 7% no Peru e 6% na Bolívia, com uma precipitação anual de 1500 a 2000 mm por ano possuindo como afluentes os rios Xapuri, Espalha, Andirá e Antimari.

A bacia hidrográfica do Rio Acre, está localizada no bioma Amazônia, região predominantemente composta por rios intermitentes. Sua maior porção encontra-se no estado do Acre, estando a nascente localizada no Peru, no estado Madre Dios, percorrendo a Bolívia, no departamento de Pando, que tem sua capital Cobija, e tendo seu percurso no estado do Acre com deságue na cidade de Boca do Acre, localizado no estado do Amazonas (Figura 3).

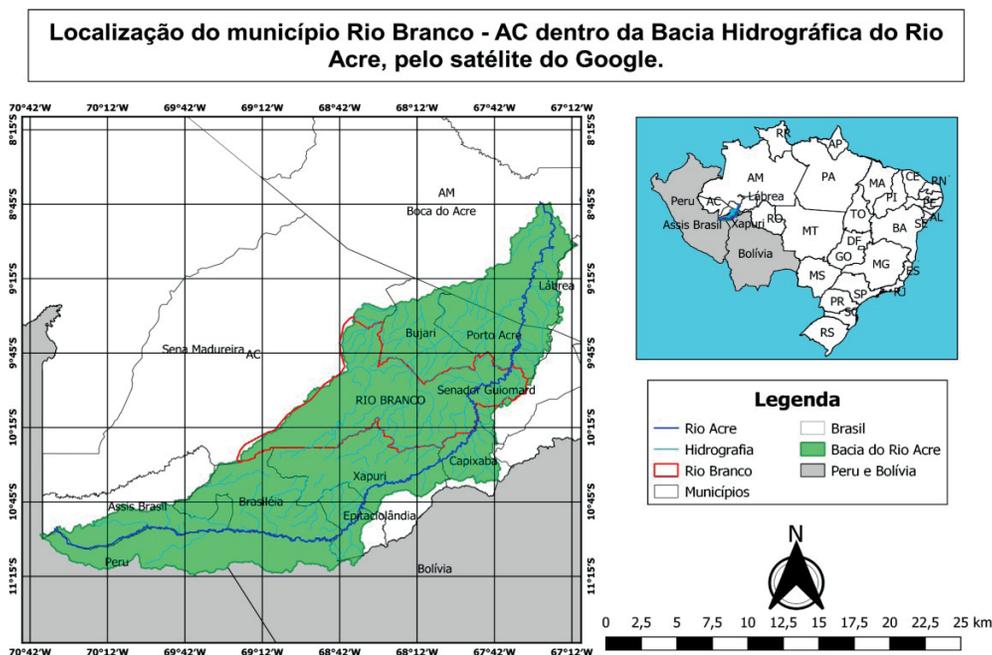



Figura 3 - Localização geográfica da bacia hidrográfica do rio Acre.

Fonte: Elaborada pelas autoras (2021)

A bacia do rio Acre compreende, totalmente ou parcialmente, 12 municípios brasileiros, sendo 2 no estado da Amazônia e 10 do Acre, e situa-se entre as coordenadas geográficas 08º45' e 11º 15' de latitude sul e 67º 12' e 70º 64' de longitude oeste, com base no datum de referência WGS 84.

Com o processamento dos dados nas regiões, pôde-se obter os principais aspectos fisiográficos da bacia, com valores aproximados de área de 35.615,32 km², perímetro de 1393,58 km e comprimento axial de 437,19 km, medida esta que corresponde ao percurso da água no período mais longo, desde a desembocadura até a cabeceira mais distante da bacia.

A partir desses parâmetros, foi possível ainda calcular e avaliar os coeficientes que caracterizam a forma da bacia (coeficiente de compacidade e fator de forma), indicando como a mesma influência no tempo transcorrido entre a ocorrência da precipitação e o

escoamento no exultório, uma vez que, sabe- se que em bacias de formato mais arredondado esse tempo tende a ser menor do que em bacias mais compridas (TUCCI, 2012).

4.3 Evento

O Rio Acre é um rio que apresenta recorrência em eventos de cheia, destacando-se as ocorridas nos anos de 1988, 1997, 2006, 2012, 2014 e 2015 por representarem eventos semelhantes uns aos outros, podendo ser citado, também, a inundação que ocorreu mais recentemente entre fevereiro e março de 2021, afetando inúmeras pessoas.

Observa-se ainda que, durante a cheia ocorrida no ano de 2015, o município de Rio Branco foi uma das cidades mais prejudicadas com a elevação do nível do Rio Acre afetando vários ribeirinhos.

Portanto, neste estudo foram escolhidas as inundações ocorridas entre 18 de fevereiro e 05 março de 2015, bem como a inundação registrada entre os dias 10 e 27 de fevereiro de 2021, com enfoque na cidade de Rio Branco, sendo essa uma das cidades mais prejudicadas com o transbordamento dos rios que compõem a bacia hidrográfica do Rio Acre.

4.4 Dados Hidrológicos

A bacia hidrográfica do Rio Acre apresenta dados fluviométricos e pluviométricos nos postos da região, sendo os pluviométricos caracterizados pela água que advém da atmosfera, depositada na terra de várias formas, com a mais importante sendo a chuva, que se apresenta como elemento fundamental para a formação de uma bacia, sendo a principal forma de entrada de água na mesma.

A obtenção dos dados hidrológicos referente aos eventos ocorridos entre fevereiro e março de 2015 e em fevereiro de 2021, deu-se através dos dados dos postos fluviométricos da ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico) e dados de postos pluviométricos operados pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e pelo CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais).

Pode-se analisar os quantitativos pluviométricos, de fevereiro e março de 2015 e fevereiro de 2021, de 07 postos pluviométricos (Quadro 1), sendo 3 postos operados pelo CEMADEN e 4 pelo INMET, e 4 postos fluviométricos (Quadro 2) operados pela ANA, onde suas localizações dentro da área de estudo podem ser observadas através da Figura 4.

Postos Pluviométricos e Fluviométricos da Bacia do Rio Acre em Rio Branco/AC

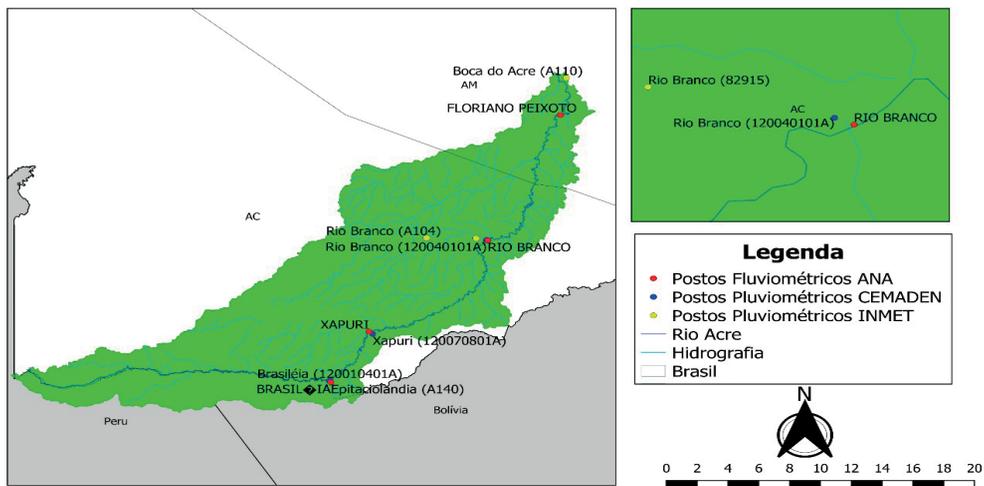



Figura 4 - Localização dos postos Pluviométricos e Fluviométricos localizados dentro da Bacia do Rio Acre em Rio Branco/AC.

Fonte: Elaborada pelas autoras (2021).

4.4.1 Dados Pluviométricos

Os postos pluviométricos têm como função medir a quantidade de chuva em determinada região, utilizando instrumentos, como o pluviômetro, responsável pela coleta de água da mesma. Os valores obtidos nas suas medições em determinado período, são armazenados em banco de dados, que podem ser acessados pela internet.

Neste estudo, foram utilizados os dados pluviométricos disponibilizados pelo INMET, que abastece seus bancos de dados com medições realizadas em horas variadas, bem como nos dados disponibilizados pelo CEMADEN, que atualiza seu banco de dados com medições a cada hora (quando não há precipitação) e a cada dez minutos quando da ocorrência de precipitação. A descrição dos postos pluviométricos utilizados no presente estudo, pode ser observada no Quadro 1 a seguir.

Código	Posto	Latitude (°)	Longitude (°)	UF	Operador	Dados em 2015	Dados em 2021
A140	Epitaciolândia	-11,02	-68,73	Acre	INMET	Ok	-
A110	Boca do Acre	-8,77	-67,33	Acre	INMET	Ok	-
A104	Rio Branco	-9,95	-68,16	Acre	INMET	Ok	-
82915	Rio Branco	-9,96	-67,87	Acre	INMET	Ok	Ok
120040101A	Rio Branco	-9,97	-67,80	Acre	Cemaden	-	Ok
120040102A	Rio Branco	-9,96	-67,81	Acre	Cemaden	-	Ok
120010401A	Brasiléia	-11,01	-68,74	Acre	Cemaden	-	Ok
120070801A	Xapuri	-10,66	-68,48	Acre	Cemaden	-	Ok

Quadro 1 - Postos Pluviométricos da Bacia do Rio Acre em Rio Branco/AC.

Fonte: Elaborada pelas autoras (2021).

Para determinação das precipitações médias na bacia, adotou-se o método de média aritmética a partir da Equação 4 descrita a seguir.

$$P = \frac{1}{N} x \sum_{i=1}^{N} Pi \qquad \textit{Equação 4}$$

Onde: P é a precipitação média na bacia, Pi é a precipitação em cada estação pluviométrica e N é o número de estações pluviométricas.

4.4.2 Dados Fluviométricos

Através da apuração de dados dos postos fluviométricos da ANA, observou-se o déficit de dados no ano de 2021 na bacia hidrográfica do Rio Acre. Portanto, neste estudo utilizou-se apenas as informações do ano de 2015. Por meio dos dados fluviométricos, pode-se analisar as vazões, velocidades e cotas d’água de uma determinada seção do rio.

Através do Quadro 2, é possível observar as informações dos postos fluviométricos, além da quantidade e déficit de dados dos postos dentro da bacia para os eventos registrados nos anos de 2015 e 2021. No presente estudo, utilizou-se informações da ANA em relação às vazões e cotas, que são medidas diariamente.

Código	Posto	Latitude (°)	Longitude (°)	UF	Operador	Dados em 2015	Dados em 2021
13600002	Rio Branco	-9,97	-67,80	Acre	ANA	Ok	-
13470000	Brasiléia	-11,01	-68,74	Acre	ANA	Ok	Ok
13550000	Xapuri	-10,65	-68,50	Acre	ANA	Ok	Ok
13650000	Floriano Peixoto (Boca do Acre)	-9,06	-67,39	Acre	ANA	Ok	-

Quadro 2 - Postos Fluviométricos da Bacia do Rio Acre em Rio Branco/AC.

Fonte: Elaborada pelas autoras (2021)

4.5 Análise de Risco Social

Nesta etapa, será analisado o risco de inundações da cidade de Rio Branco, onde será criado um mapa que apresentará as áreas com frequentes possibilidades de inundações. Durante o estudo será necessário analisar algumas variáveis sociais como o número de habitantes, a quantidade de moradias, a renda *per capita*, o acesso ao ensino e outras variáveis sociais referentes à cidade de Rio Branco.

A obtenção dos dados deu-se através do último censo completo do IBGE realizado no ano de 2010, por meio da sinopse de dados que tem como propósito garantir os principais dados demográficos da cidade. A partir da setorização da região em setores censitários, realizada ao longo do levantamento dos dados obtidos no IBGE, foi possível proceder com o estudo a respeito do grau de agressividade das inundações no local escolhido.

As altas vazões associadas com a elevação do nível do rio geralmente resultam em inundações, motivando o estudo realizado pela CPRM a respeito da suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação no município de Rio Branco tendo como um de seus produtos a mancha de inundação do Rio Acre.

Ao utilizar a mancha de inundação elaborada pela CPRM no software QGis, no qual se obteve a análise das áreas de ameaça no estudo, consegue- se entender de forma visual as áreas mais atingidas pela inundação e determinar os setores censitários a serem analisados no presente estudo devido ao seu grau de suscetibilidade às inundações (Figura 5).

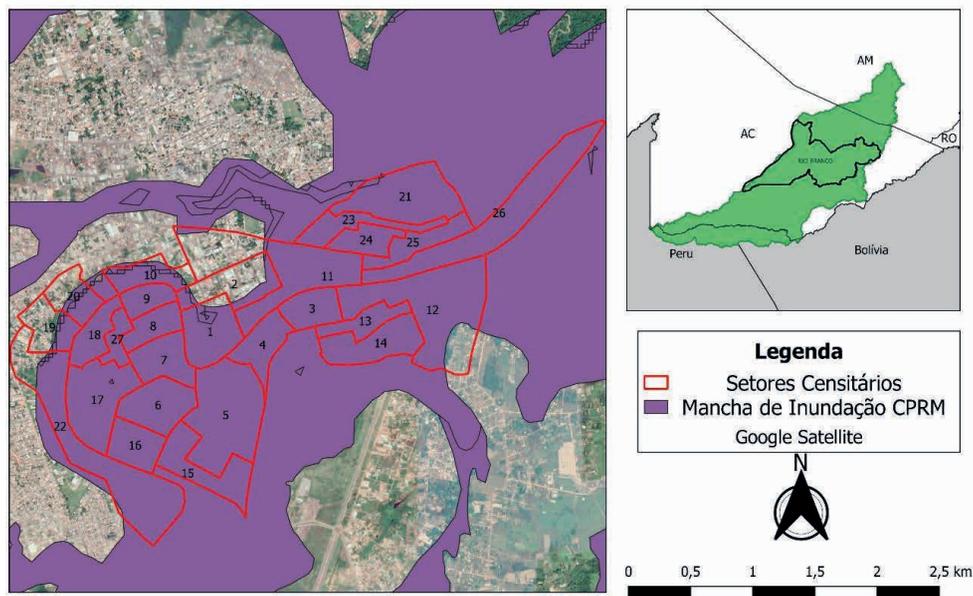



Figura 5 - Mapa de localização dos Setores Censitários analisados.

Fonte: Elaborada pelas autoras (2021)

De acordo com Rebelo (2003), o estudo de risco pode ser feito através da multiplicação da vulnerabilidade social pela ameaça de inundações, em que o risco possui suas classificações em alta, moderada e baixa, podendo ser obtido por meio da Equação 5.

$$R = A \times V \qquad \text{Equação 5}$$

Onde: R representa o risco; A ameaça e; V vulnerabilidade social.

A análise das áreas mais vulneráveis às ocorrências de inundações, partiu de pesquisas em jornais, website e artigos, além da utilização da mancha elaborada pela CPRM, onde foi possível identificar os bairros mais suscetíveis a esse acontecimento e também a região que apresentou a maior cota nos períodos estudados.

O estudo da vulnerabilidade social do presente estudo foi adaptado da pesquisa de Silva Jr. (2010), em que foi utilizado o trabalho de campo e dados censitários oficiais para relacionar as diferentes variáveis essenciais, descritas no Quadro 3, para obtenção da equação de vulnerabilidade social por setor censitário (Equação 6), vale salientar que o sinal positivo acompanhado da incógnita de elementos vulneráveis (Evul) mostra que quanto mais elementos essências mais vulnerável o setor analisado será, já em relação ao sinal negativo da variável de unidade de resposta (UR), explica-se pelo fato de que a vulnerabilidade irá diminuir conforme o aumento da quantidade de unidades de respostas.

$$V = \frac{(Ptotal+Pedu+Pren+P60+P0-4+Evul)-UR}{7}$$ Equação 6

Onde: V representa a vulnerabilidade do setor; P as populações; Evul elementos vulneráveis e UR unidade de respostas.

Variáveis (Abreviaturas)	**Descrição**
P-total	A população total do setor se descreve por quanto maior for o número de pessoas, maior será a vulnerabilidade por área.
P-educação	Pessoas que não possuem escolaridade.
P-renda	O programa da Nações Unidas informa que, ao dividir o valor da renda pelo número de integrantes e esse dá menor que meio salário mínimo, significa, que estão abaixo da linha da pobreza.
P-60	São considerados pessoas com dificuldades em sua mobilidade, deacordo com a OMS, onde a organização define de acordo com seu desenvolvimento, se condiz com o quadro de idosos.
P 0-4	Se caracteriza por ser uma população mais frágil, por depender de familiares e está sujeito a traumas.
Elementos essenciais vulneráveis (*Evul*)	O desempenho da sociedade dependerá das condições do meio em quevive, tendo como seus elementos na infraestrutura (escolas, mercados, igrejas, hospitais, instituições públicas, bancos e outros) e redes sociais.
Unidades de respostas (*UR*)	De acordo com a organização da saúde, são unidades de respostas, quando em caso de desastre respondem com resultado o ocorrido.

Quadro 3 - Descrição das variáveis utilizadas na análise da vulnerabilidade dos setores censitários.

Fonte: Adaptada de Silva Jr. (2010).

Para a classificação da vulnerabilidade, utilizou-se a Equação 6 para os devidos cálculos e, por meio destes, pôde-se classificá-la em três grupos de vulnerabilidade, sendo de alta, moderada e baixa vulnerabilidade social, a partir dos critérios descritos no Quadro 4 a seguir.

Vulnerabilidade	Classificação	População	População infantil 0-4 anos	População idosa >60 anos	População analfabeta	Pessoas de 10 anos ou mais de idade com rendimento nominal mensalaté 1 salário mínimo
Baixa	1	Até 10%	Até 10%	Até 10%	Até 30%	Até 30%
Moderada	2	10% a 20%	10% a 20%	10% a 20%	30% a 50%	30% a 50%
Alta	3	Mais20%	Acima de 20%	Acima de20%	Acima de 50%	Acima de 50%

Quadro 4 - Classificação da vulnerabilidade segundo agrupamento das variáveis populacionais por setores censitários.

Fonte: Adaptada de Silva Jr. (2010).

Os elementos essenciais vulneráveis foram classificados de acordo com os critérios estabelecidos por Silva Jr. (2010), como órgãos públicos, instituições financeiras, hospitais, escolas, igrejas, entre outros, representando elementos que garantem a evolução da sociedade. Logo, se houver muitos elementos essenciais inserido em um setor afetado, a vulnerabilidade irá aumentar.

Fazendo um panorama dos locais, pode-se permitir ter uma classificação da vulnerabilidade, por meio dos elementos essenciais vulneráveis, que fazem parte dos setores censitários, obtendo sua classificação da vulnerabilidade em (alta, moderada e baixa vulnerabilidade) conforme critérios descritos no Quadro 5 abaixo.

Vulnerabilidade	Elementos essenciais por setor censitário	Classificação
Baixa	Menos de 2	1
Moderada	2 a 5	2
Alta	Mais de 5	3

Quadro 5 - Classificação de vulnerabilidade dos Elementos Essenciais segundo levantamento dos setores censitários.

Fonte: Silva Jr. (2010).

Na avaliação das unidades de respostas, a análise é produzida através da importância que esses elementos têm em obter respostas positivas em meio a um desastre na sociedade, diminuindo, assim, a vulnerabilidade do local.

Como unidades de resposta – URs, destacam-se as escolas, as igrejas e os hospitais, no qual cada um recebe um peso distinto devido à sua importância, de modo que os pesos atribuídos para cada um deles podem ser justificados pelos seguintes motivos:

- Hospitais (peso 2,5) – são considerados os mais importantes das unidades de respostas, por terem como principal objetivo a preservação da saúde da população que está à mercê do desastre devido, principalmente, à sua importância na colaboração e reestabelecimento da saúde da sociedade;
- Escolas (peso 2,0) – têm como principal função a possibilidade de servirem como abrigos para as pessoas que ficaram desalojadas durante o desastre;
- Igrejas (peso 1,0) – essenciais no processo de apoio social e psicológico para a população atingida, além de também poder ser utilizada como abrigo para parte da população desalojada.

Desse modo, foi possível realizar o cálculo da influência das URs no cálculo da vulnerabilidade social da região, através da Equação 7 sugerida por Silva Jr. (2010), onde o valor encontrado por meio dos elementos das unidades de respostas, se fez pela divisão do somatório dos pesos atribuídos a cada elemento, classificando as URS segundo os níveis de vulnerabilidade também sugeridas por Silva Jr. (2010) conforme descrição disponível

no Quadro 6.

$$UR = \frac{(\Sigma N\ de\ Hospitais\ X\ 2{,}5) + (\Sigma N\ de\ Escolas\ X\ 2) + (\Sigma N\ de\ Igrejas\ X\ 1)}{5{,}5} \quad \text{Equação 7}$$

Vulnerabilidade	Unidades de Resposta por setor censitário
Alta	UR < 1
Moderada	1 ≤ UR ≤ 2
Baixa	UR > 2

Quadro 6 - Classificação de vulnerabilidade das Unidades de Resposta segundo levantamento dos setores censitários.

Fonte: Silva Jr. (2010).

Ademais, após a análise dos elementos essenciais e das unidades de resposta, pode-se observar que hospitais, escolas e igrejas são mencionados nas duas classificações, pois ao mesmo tempo que esses elementos são considerados necessários para a população evoluir, também são utilizados como abrigos e apoio, sendo uma unidade de resposta em meio a desastres naturais. Portanto, para o cálculo utilizou-se a Equação 6 e classificou-se os setores censitários analisados em três grupos distintos a respeito da vulnerabilidade social (alta, moderada e baixa) conforme critérios descritos no Quadro 7.

Vulnerabilidade	Classificação	Vulnerabilidade do setor censitário
Baixa	1	0,7 ≤ V < 0,9
Moderada	2	0,9 ≤ V < 1,2
Alta	3	V ≥ 1,2

Quadro 7 - Classificação dos setores censitários segundo cálculo da vulnerabilidade social dos setores censitários.

Fonte: Adaptada de Silva Jr. (2010).

Com todas as etapas realizadas, o valor da vulnerabilidade social e da ameaça foi encontrado, sendo possível estimar o risco em cada setor censitário abordado no estudo, classificando-os em grupos de alto, moderado e baixo risco, sendo essa a última fase da análise de risco.

A classificação dos riscos nos setores escolhidos do município de Rio Branco deu-se por meio da vulnerabilidade, determinada no Quadro 7, e análise da mancha de inundação elaborada pela CPRM no Figura 5, conferindo alta ameaça em todos os setores devido a área de estudo estar inserida totalmente na mancha de inundação. Desta forma, ao relacionar o grau de ameaça com o grau de vulnerabilidade social foi possível identificar o

risco do setor, observado no Quadro 8.

	VULNERABILIDADE SOCIAL		
AMEAÇA	**Alta**	**Moderada**	**Baixa**
Alta	**alto**	**alto**	**moderado**

Quadro 8 - Classificação do risco segundo exposição à ameaça e cálculo da vulnerabilidade social dos setores censitários.

Fonte: Elaborada pelas autoras (2021)

Por fim, foi possível mapear as áreas de risco em Rio Branco localizadas às margens do rio Acre a partir da análise dos setores censitários, tendo como base a classificação dos riscos segundo as áreas ameaçadas e a vulnerabilidade social da região.

5 I RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Área de Estudo

Após levantamento das informações necessárias e caracterização da área de estudo através do QGis (ferramenta de geoprocessamento), foi possível identificar as principais características físicas da bacia hidrográfica do rio Acre conforme descrição e análise das informações a seguir.

O coeficiente de compacidade da área de estudo, obtido através da área e do perímetro da bacia, apresentou valor aproximado de 20,67 e, uma vez que esse coeficiente é maior que 1, indica que a bacia tem forma mais alongada conforme descrito por Tucci (2012), já para o fator de forma, observou-se o valor de 0,18. Assim, verifica-se por meio desses índices (coeficiente de compacidade e fator de forma) que a bacia apresenta um formato comprido e alongado, ou seja, que não apresenta grandes tendências às inundações, mas que, mesmo assim, em alguns pontos há registros de inundações devido, principalmente, às demais características da região.

Através de cálculos e utilizando o plugin Terrain Profile no software QGis, pode-se afirmar que, pelos formatos dos corpos d’água, a bacia possui um padrão dendrítico, com muitas ramificações, tendo o seu rio principal uma extensão de aproximadamente 810 km, com altitude máxima de 440,24 m e altitude mínima de 57,76 m, apresentando uma declividade de 0,00047 m/m ao longo do rio principal, como pode ser observada da Figura 6, onde foi analisado do ponto mais baixo da bacia, localizado no Amazonas, até o mais alto, localizado no Peru.

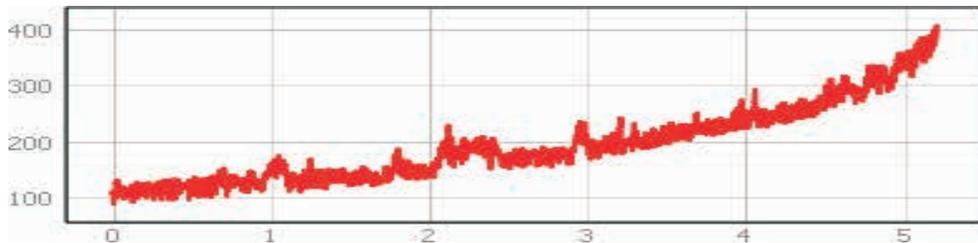



Figura 6 - Variação de altitude da bacia hidrográfica do rio Acre.

Fonte: Elaborada pelas autoras (2021)

Durante o processamento das características fisiográficas da bacia, foi extraído ainda o mapa hipsométrico da região, que representa a variação do relevo de um terreno (Figura 7).

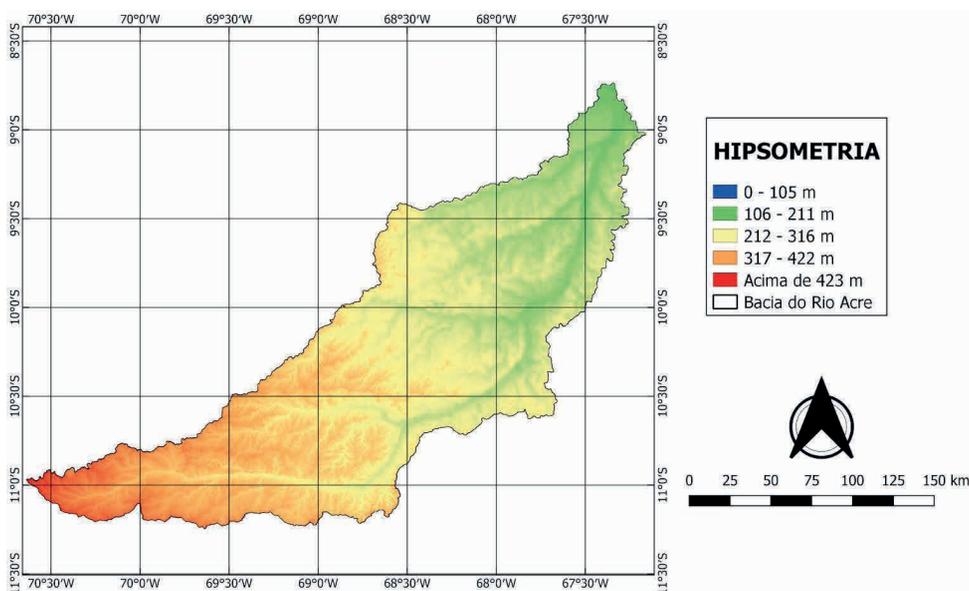



Figura 7 - Mapa hipsométrico da Bacia do Rio Acre

Fonte: Elaborada pelas autoras (2021).

Essa representação é importante, visto que o relevo pode interferir na intensidade de escoamento, devido à influência que exerce no tempo de escoamento da precipitação que incide sobre a região, sendo este tempo de escoamento menor quando em regiões de alta declividade, provocando um tempo de pico menor de modo a acelerar/aumentar a vazão de pico da região (Carvalho e Silva, 2007).

5.2 Levantamento de Dados

5.2.1 Dados Pluviométricos

A partir da Figura *8* e Figura 9, pode-se observar os dados pluviométricos obtidos dos anos de 2015 e 2021, respectivamente, nos quais foram utilizados os dados do INMET e CEMADEN para analisar os períodos de inundações.

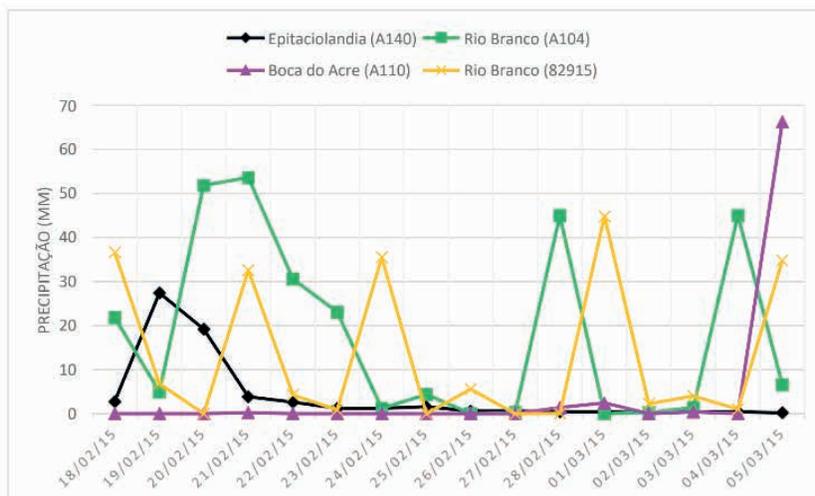



Figura 8 - Dados pluviométricos da inundação de 2015.

Fonte: Elaborada pelas autoras (2021).

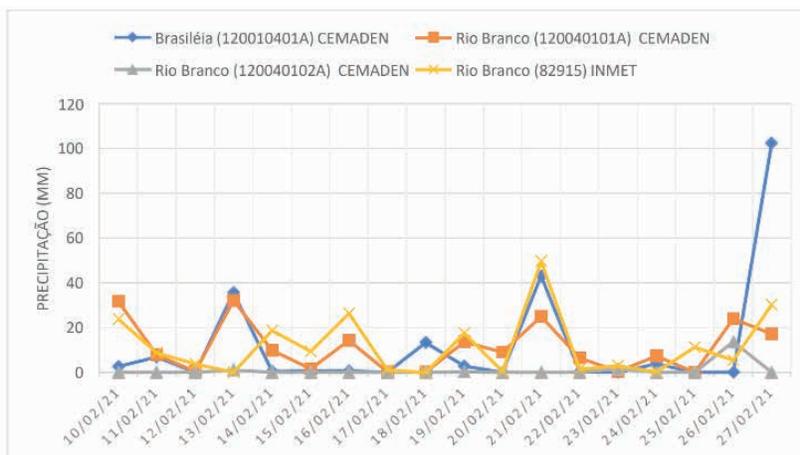



Figura 9 - Dados pluviométricos da enchente de 2021.

Fonte: Elaborada pelas autoras (2021).

Os postos analisados em 2015 e em 2021 não foram, na sua totalidade, os mesmos,

devido à falta de dados, com exceção o posto pluviométrico de Rio Branco, monitorado pelo INMET, em que foi possível obter dados tanto do evento ocorrido em 2015 quanto em 2021, possibilitando assim a comparação entre eles.

De acordo com a Figura *8*, com todos os postos monitorados pelo INMET, foi possível observar que o local em que ocorreu as maiores ocorrências com frequência de chuva foi no posto automático de Rio Branco, de modo que durante todo o período analisado alcançou o total de 289,80 mm.

Já na Figura 9, visualiza-se dois postos com precipitações semelhantes (monitorados pela CEMADEN e INMET), estando localizados em Brasiléia e Rio Branco, respectivamente. No município de Brasiléia, divisa com Bolívia, obteve-se o total de 212,40mm, muito semelhante com a cidade de Rio Branco, capital do Acre, em que culminou no total de 210,50 mm.

Portanto, após análise dos dados dos anos de 2015 e 2021, percebeu- se que a cidade de Rio Branco foi uma das que mais choveu no período analisado. Fazendo, assim, a escolha deste local para ser o objeto de estudo.

5.2.2 Dados Fluviométricos

É possível observar nos hidrogramas contidos nas Figura 10 e Figura 11, os dados fluviométricos obtidos para os eventos de inundações registrados em 2015 e 2021, respectivamente, na bacia hidrográfica do rio Acre. Como comparativo entre os anos, destaca-se o posto fluviométrico de Xapuri e Brasiléia, devido a disponibilidade de dados para os dois eventos analisados.

Em 2015, a maior vazão ocorreu no dia 26 de fevereiro no município de Xapuri, de modo que o hidrograma do ano de 2021, mostra o maior registro no dia 14 de fevereiro, demonstrando que as chuvas ocorrem corriqueiramente em determinado período do ano.

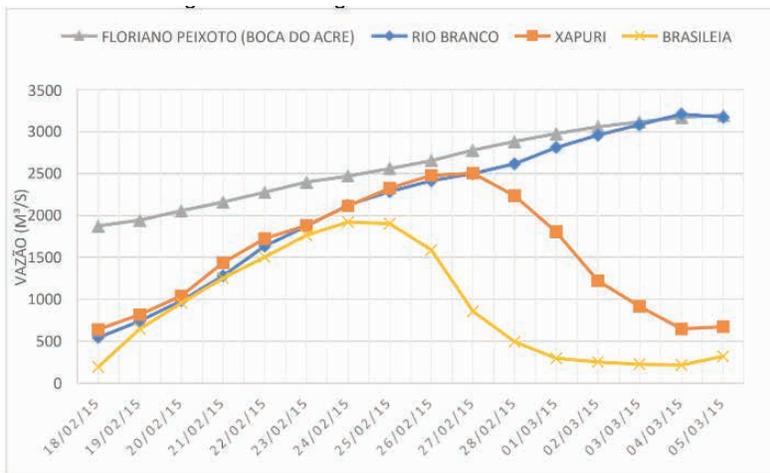



Figura 10 - Hidrograma da enchente de 2015.

Fonte: Elaborada pelas autoras (2021)

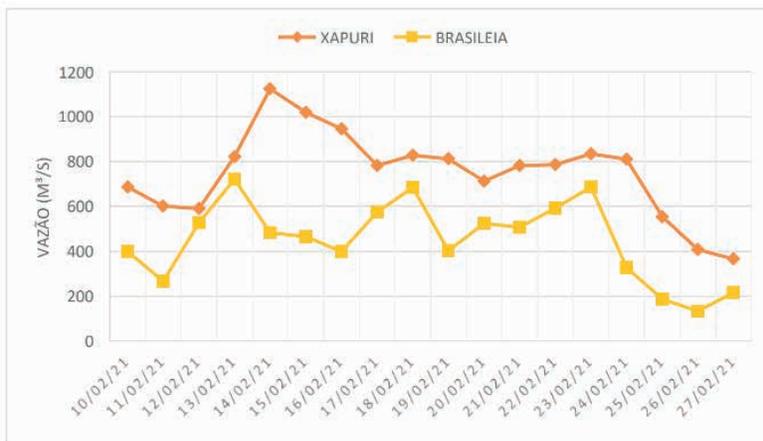



Figura 11 - Hidrograma da enchente de 2021.

Fonte: Elaborada pelas autoras (2021)

No decorrer do estudo, observou-se a falta de dados do ano de 2021 nos postos fluviométricos de Rio Branco e Boca do Acre, pertencentes a bacia do rio Acre e monitorados pela ANA. Contudo, o presente estudo foi realizado tendo como foco a cidade de Rio Branco, pois constatou-se, através dos dados pluviométricos, que foi o local com maior quantidade de chuva no ano de 2015 e o segundo maior no ano de 2021. Por esse motivo, o posto fluviométrico de Rio Branco foi utilizado para análise de cotas máximas com o comparativo da cota de inundação disponibilizada pelo Boletim nº16/2021 da CPRM.

Figura 12 - Representação das cotas máximas do posto de Rio Branco entre 1988 e 2015.

Fonte: Elaborada pelas autoras (2021)

De acordo com dados obtidos pela ANA dos anos 1988 a 2015, pode-se observar na Figura 12 a representação do nível da cota no posto de Rio Branco, em que excedeu o valor do nível de transbordo do rio determinado pela CPRM, tendo todos os valores acima da cota de transbordamento, o que resultou em inundações em Rio Branco e nas cidades vizinhas que o Rio Acre está presente, durante o decorrer dos anos.

5.3 Análise de risco

A análise de risco da bacia, foi determinada nas regiões mais vulneráveis a inundações às margens do rio Acre de acordo com pesquisas executadas e mancha disponibilizada pela CPRM. Sua execução, deu-se através de análises da ameaça à ocorrência da suscetibilidade a inundações e da vulnerabilidade social na cidade de Rio Branco/AC, utilizando como referência os setores censitários e seus respectivos dados da população residente nas áreas analisadas da cidade.

No Quadro 9, serão apresentadas as variáveis utilizadas na estimativa de vulnerabilidade social, onde as informações estão agrupadas de acordo com os grupos de vulnerabilidade, mediante a classificação por meio da idade, da escolaridade e da renda que cada pessoa apresenta.

Setor	População Total	População Urbana total de Rio Branco	% População Urbana total de Rio Branco em relação aosetor	População com idade entre 0-4 anos	% da populaçãocom idade entre 0-4anos	População com idade maior que 60 anos	% da populaçãocom idade maior que60 anos	População analfabeta	% da População analfabeta	Pessoas de 10 anos ou mais de idade com rendimento nominal mensal até 1 salário mínimo	% de Pessoas de 10 anos ou mais de idade com rendimento nominal mensal até 1 salário mínimo
1	1062	308545	0,34%	83	7,82%	131	12,34%	196	18,46%	242	22,79%
2	371	308545	0,12%	33	8,89%	32	8,63%	99	26,68%	93	25,07%
3	299	308545	0,10%	6	2,01%	34	11,37%	20	6,69%	68	22,74%
4	166	308545	0,05%	7	4,22%	19	11,45%	14	8,43%	31	18,67%
5	947	308545	0,31%	70	7,39%	85	8,98%	142	14,99%	201	21,22%
6	821	308545	0,27%	66	8,04%	93	11,33%	112	13,64%	128	15,59%
7	1138	308545	0,37%	95	8,35%	76	6,68%	197	17,31%	208	18,28%
8	1205	308545	0,39%	113	9,38%	87	7,22%	214	17,76%	281	23,32%
9	832	308545	0,27%	81	9,74%	69	8,29%	198	23,80%	183	22,00%
10	466	308545	0,15%	56	12,02%	29	6,22%	124	26,61%	114	24,46%
11	658	308545	0,21%	40	6,08%	112	17,02%	75	11,40%	83	12,61%
12	1278	308545	0,41%	110	8,61%	127	9,94%	192	15,02%	363	28,40%
13	733	308545	0,24%	71	9,69%	70	9,55%	143	19,51%	216	29,47%
14	1359	308545	0,44%	148	10,89%	88	6,48%	284	20,90%	411	30,24%
15	962	308545	0,31%	74	7,69%	102	10,60%	119	12,37%	151	15,70%
16	1042	308545	0,34%	72	6,91%	108	10,36%	138	13,24%	281	26,97%
17	1428	308545	0,46%	140	9,80%	68	4,76%	271	18,98%	321	22,48%
18	729	308545	0,24%	65	8,92%	74	10,15%	159	21,81%	182	24,97%
19	884	308545	0,29%	88	9,95%	88	9,95%	205	23,19%	195	22,06%
20	862	308545	0,28%	110	12,76%	61	7,08%	295	34,22%	248	28,77%
21	2521	308545	0,82%	284	11,27%	88	3,49%	557	22,09%	623	24,71%
22	1040	308545	0,34%	98	9,42%	98	9,42%	208	20,00%	266	25,58%
23	898	308545	0,29%	69	7,68%	70	7,80%	112	12,47%	139	15,48%
24	870	308545	0,28%	48	5,52%	120	13,79%	74	8,51%	144	16,55%
25	1190	308545	0,39%	80	6,72%	87	7,31%	160	13,45%	287	24,12%
26	1202	308545	0,39%	117	9,73%	102	8,49%	196	16,31%	265	22,05%
27	871	308545	0,28%	69	7,92%	71	8,15%	113	12,97%	273	31,34%

Quadro 9 - Variáveis utilizadas na definição da vulnerabilidade social dos setores censitários às margens do rio Acre - Rio Branco/Acre.

Fonte: Elaborada pelas autoras (2021)

Após levantamento e análise das variáveis (Quadro 9), pode-se classificar os setores censitários com base nos critérios pré-estabelecidos por Silva Jr (2010) no Quadro 4, onde

sua classificação pode ser melhor visualizada no Quadro 10 a seguir.

Setor	% População Urbana total de Rio Branco em relação ao setor	% da população com idade entre 0-4 anos	% da população com idade maior que60 anos	% da População analfabeta	% de Pessoas de 10 anosou mais de idade com rendimento nominal mensal até 1 salário mínimo
1	1	1	2	1	1
2	1	1	1	1	1
3	1	1	2	1	1
4	1	1	2	1	1
5	1	1	1	1	1
6	1	1	2	1	1
7	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1
10	1	2	1	1	1
11	1	1	2	1	1
12	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1
14	1	2	1	1	2
15	1	1	2	1	1
16	1	1	2	1	1
17	1	1	1	1	1
18	1	1	2	1	1
19	1	1	1	1	1
20	1	2	1	2	1
21	1	2	1	1	1
22	1	1	1	1	1
23	1	1	1	1	1
24	1	1	2	1	1
25	1	1	1	1	1
26	1	1	1	1	1
27	1	1	1	1	2

Quadro 10 - Variáveis classificadas segundo sua vulnerabilidade para cada setor censitário.

Fonte: Elaborada pelas autoras (2021)

No caso da análise realizada nos setores censitários selecionados da cidade de Rio Branco (Quadro 10), observa-se que a população com idade de 0-4 anos de idade apresenta a maior porcentagem, compreendida pelos setores 10, 14, 20 e 21; já no caso da população com idade maior que 60 anos, os setores que apresentaram maior porcentagem foram os setores 1, 3, 4, 6, 11, 15, 16, 18 e 24.

Em relação aos dados da população analfabeta, o setor 20 foi o que apresentou o maior valor pela classificação de vulnerabilidade, enquanto que os setores 14 e 27 foram os que indicaram um maior número de pessoas com rendimento *per capita* de até um salário mínimo (Quadro 10).

Os elementos essenciais vulneráveis obtidos no estudo e utilizados na estimativa do cálculo da vulnerabilidade social, foram levantados por meio de pesquisas e categorizados com base no grau de vulnerabilidade, sendo realizado por meio de pesquisas, onde foi possível obter informações no site da Prefeitura de Rio Branco, além do próprio IBGE.

Sabe-se que os elementos essenciais (ES) são definidos como sendo fundamentais na vida da sociedade, especialmente em situações de desastres, onde tais componentes têm o papel de auxiliar os moradores do local, dispondo de locais essenciais para o reestabelecimento das condições normais de sobrevivência da população, uma vez que, o ser humano requer acesso à serviços básicos, como: escolas, hospitais, mercados, instituições públicas, igrejas, entre outros.

A partir da análise dos 27 setores censitários analisados dentro da mancha de inundação utilizada como referência, observa-se que todos os setores apresentam ao menos um elemento essencial, sendo os setores 1, 2, 6, 7 e 9 os mais vulneráveis, entendendo que quanto maior o número de elementos essenciais, maior será a vulnerabilidade do setor mencionado (Quadro 11), devido à possibilidade de serem atingidos pela inundação e ficarem desativados.

A partir do Quadro 11, observa-se a classificação dos setores em relação à disponibilidade dos elementos essenciais com base na classificação proposta no Quadro 5.

Setor	DESCRIÇÃO DO ELEMENTO ESSENCIAL	QUANTIDADE	TOTAL	CLASSIFICAÇÃO	CLASSE DE VULNERABILIDADE
1	MERCADO	4	10	3	Alta
	INSTITUIÇÃO PÚBLICA	1			
	BANCO	1			
	ESCOLA	3			
	HOSPITAL	1			
2	IGREJA	4	22	3	Alta
	MERCADO	6			
	INSTITUIÇÃO PÚBLICA	5			
	BANCO	4			
	ESCOLA	3			
3	MERCADO	9	11	3	Alta
	ESCOLA	1			
	HOSPITAL	1			
4	IGREJA	1	7	3	Alta
	MERCADO	6			
5	MERCADO	3	5	2	Moderada
	INSTITUIÇÃO PÚBLICA	1			
	ESCOLA	1			
6	IGREJA	4	6	3	Alta
	MERCADO	1			
	ESCOLA	1			
7	MERCADO	1	1	1	Baixa
8	MERCADO	1	1	1	Baixa
9	ESCOLA	1	1	1	Baixa
10	IGREJA	3	12	3	Alta
	MERCADO	3			
	INSTITUIÇÃO PÚBLICA	1			
	BANCO	3			
	ESCOLA	2			
11	IGREJA	5	26	3	Alta
	MERCADO	15			
	INSTITUIÇÃO PÚBLICA	3			
	BANCO	2			
	ESCOLA	1			
12	IGREJA	1	2	2	Moderada
	ESCOLA	1			
13	-	-	-	-	Baixa
14	-	-	-	-	Baixa

15	MERCADO	2	4	2	Moderada
	ESCOLA	1			
	HOSPITAL	1			
16	IGREJA	1	6	3	Alta
	MERCADO	5			
17	IGREJA	1	11	3	Alta
	MERCADO	6			
	ESCOLA	4			
18	MERCADO	4	5	3	Alt
	HOSPITAL	1			
19	-	-	-	-	Baixa
20	IGREJA	1	2	2	Moderada
	MERCADO	1			
21	MERCADO	1	1	1	Baixa
22	MERCADO	7	9	3	Alta
	ESCOLA	2			
23	IGREJA	2	9	3	Alta
	MERCADO	6			
	HOSPITAL	1			
24	MERCADO	1	1	1	Baixa
25	MERCADO	3	4	2	Moderada
	ESCOLA	1			
26	-	-	-	-	Baixa
27	IGREJA	2	8	3	Alta
	MERCADO	5			
	ESCOLA	1			

Quadro 11 - Quantificação e classificação dos elementos essenciais para cada setor censitário.

Fonte: Elaborada pelas autoras (2021)

Enquanto isso, as unidades de resposta (UR) consideradas fundamentais por garantirem abrigo, respostas à saúde e/ou apoio psicológico das pessoas em situações de desastres, estão relacionadas à existência de hospitais, igrejas e escolas em cada setor, tendo como propósito garantir o retorno mais rápido da vida das pessoas atingidas nas regiões.

As unidades de resposta (UR), têm seu cálculo na Equação 7, que considera o somatório da quantidade de hospitais, escolas e igrejas de cada setor censitário. Entretanto, no estudo foi estabelecido um peso de 2,5 para os hospitais, de maneira que os locais estudados, não apresentavam hospitais de grande porte, em função disso, esse valor foi utilizado para os locais que apresentaram unidades de pronto atendimento. Em relação às escolas, foi utilizado o peso 2,0, enquanto que para as igrejas adotaram-se peso 1,0

conforme descrição realizada no item 4.5 Análise de Risco Social.

Após consideração dos pesos para o total de Unidades de Resposta identificadas no setor censitário, calculou-se a vulnerabilidade desta variável a partir da Equação 7 procedendo com sua classificação quanto à vulnerabilidade a partir dos critérios estabelecidos no Quadro 6. Tal procedimento, pode ser melhor visualizado a partir do detalhamento apresentado no Quadro 12 a seguir.

Setor	Hospital	Escola	Igreja	UR	Classificação
1	1	3	0	1,5	Moderada
2	0	3	4	1,8	Moderada
3	1	1	0	0,8	Alta
4	0	0	1	0,1	Alta
5	0	1	0	0,4	Alta
6	0	1	4	1,1	Moderada
7	0	0	0	0,0	Alta
8	0	0	0	0,0	Alta
9	0	1	0	0,4	Alta
10	0	2	3	1,3	Moderada
11	0	1	5	1,3	Moderada
12	0	1	1	0,5	Alta
13	0	0	0	0,0	Alta
14	0	0	0	0,0	Alta
15	1	1	0	0,8	Alta
16	0	0	1	0,2	Alta
17	0	4	1	1,6	Moderada
18	1	0	0	0,4	Alta
19	0	0	0	0,0	Alta
20	0	0	1	0,1	Alta
21	0	0	0	0,0	Alta
22	0	2	0	0,7	Alta
23	1	0	2	0,8	Alta
24	0	0	0	0,0	Alta
25	0	1	0	0,4	Alta
26	0	0	0	0,0	Alta
27	0	1	2	0,7	Alta

Quadro 12 - Detalhamento e resultado do cálculo ponderado das unidades de resposta, bem como classificação de vulnerabilidade para cada setor censitário.

Fonte: Elaborada pelas autoras (2021)

Finalmente, a classificação dos setores em relação à sua vulnerabilidade social

(baixa, moderada ou alta) pôde ser realizada após aplicação da Equação 6, utilizando-se o Quadro 7 como parâmetro para classificação e conforme descrito no Quadro 13 a seguir.

Setor	Vulnerabilidade do setor censitário	Classificação	Classe de Vulnerabilidade
1	1,065	2	Moderada
2	0,883	1	Baixa
3	1,169	2	Moderada
4	1,260	3	Alta
5	0,948	2	Moderada
6	1,130	2	Moderada
7	0,857	1	Baixa
8	0,857	1	Baixa
9	0,805	1	Baixa
10	1,104	2	Moderada
11	1,104	2	Moderada
12	0,922	2	Moderada
13	0,714	1	Baixa
14	1,000	2	Moderada
15	1,026	2	Moderada
16	1,260	3	Alta
17	0,909	2	Moderada
18	1,221	3	Alta
19	0,714	1	Baixa
20	1,260	3	Alta
21	1,000	2	Moderada
22	1,039	2	Moderada
23	1,026	2	Moderada
24	1,000	2	Moderada
25	0,948	2	Moderada
26	0,714	1	Baixa
27	1,182	2	Moderada

Quadro 13 - Vulnerabilidade social por setor censitário.

Fonte: Elaborada pelas autoras (2021)

Uma melhor visualização espacial desta classificação pode ser observada na Figura 13, no qual as análises a respeito da vulnerabilidade social estão relacionadas com as mudanças bruscas e significativas que ocorrem na vida da sociedade residente no local, de modo a estarem mais suscetíveis a essas mudanças, sendo estes relacionados à educação, à saúde, à cultura, ao lazer e ao trabalho.

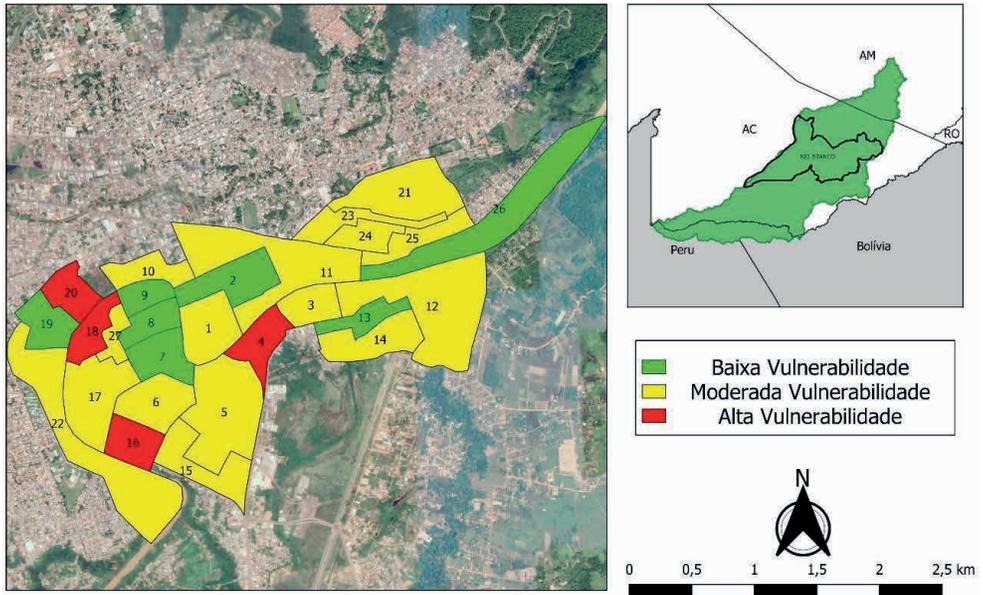



Figura 13 - Mapeamento da vulnerabilidade social nos setores censitários urbanos às margens do rio Acre.

Fonte: Elaborada pelas autoras (2021)

A partir da análise do Quadro 13 e da Figura 13, constata-se os setores socialmente mais vulneráveis às inundações às margens do Rio do Acre localizados na cidade de Rio Branco, sendo os setores 04, 16, 18 e 20 os que apresentaram o maior grau de vulnerabilidade aos acontecimentos estudados.

Por fim, foi possível alcançar o principal objetivo deste estudo através da análise de risco de cada setor, partindo do estudo da ameaça com base na mancha de inundação disponibilizada pela CPRM e da aplicação da Equação 5. Essa análise de risco, resultado do cruzamento dos dados de ameaça de inundações e vulnerabilidade social de cada setor censitário, pode ser melhor visualizado através da Figura 14.

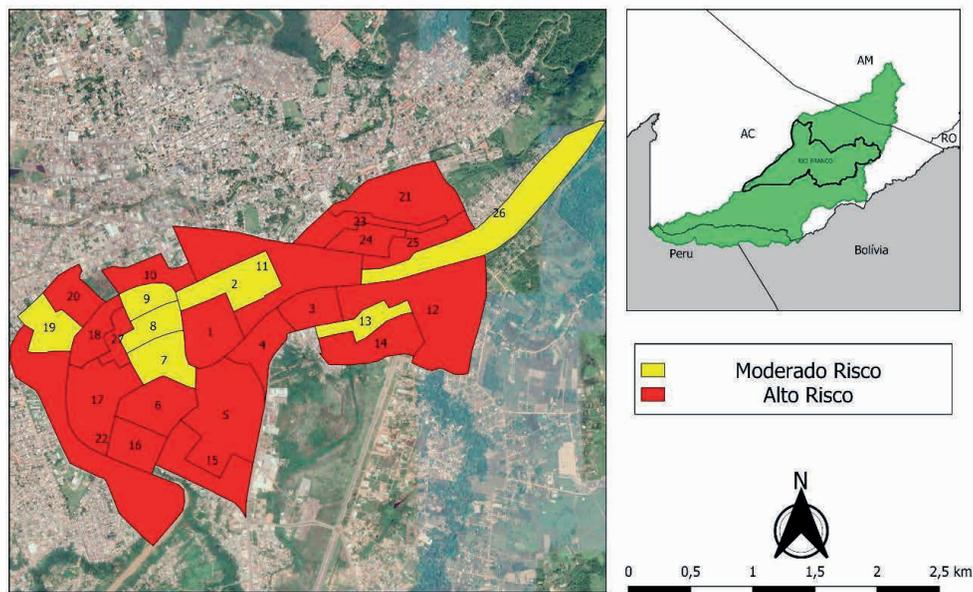



Figura 14 - Mapeamento do risco à inundação nos setores censitários urbanos às margens do rio Acre.

Fonte: Elaborada pelas autoras (2021)

A partir da Figura 14, foi possível apresentar as áreas de maior risco, sendo aplicada a metodologia utilizada por Rebelo (2003) para realizar a análise de risco da população ribeirinha no município de Rio Branco a partir dos dados de unidades de resposta, elementos essenciais e população do local. Sendo ainda possível observar na Figura 14 que as regiões que apresentaram maiores riscos as inundações e enchentes, de fato são aquelas inseridas às margens do rio e que, provavelmente, correspondem ao leito de inundação do rio de modo que não deveriam ter sido ocupadas ao longo dos anos.

Os setores em vermelho apresentam alto risco às inundações e em amarelo apresentam risco moderado, sendo possível observar a relação entre a vulnerabilidade e ameaça em relação a quantidade dos elementos essenciais e unidades de respostas que cada setor apresenta. Tal risco, caracteriza-se, principalmente, pela maior dificuldade de recuperação no caso de um possível desastre natural nesta região.

Ainda com base na Figura 14, os setores 1, 3, 4, 5, 6, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25 e 27, apresentaram altos riscos associados às demais áreas analisadas devido, principalmente, à alta quantidade de pessoas analfabetas e com renda inferior a 1 salário mínimo, configurando grupos populacionais que explicitam maiores riscos à vulnerabilidade e ocorrência de desastres (Quadro 10).

No caso do risco apresentado nos setores 2, 7, 8, 9, 13, 19 e 26, sendo definidas

como moderado, ainda que dispondo de elementos essenciais e unidades de respostas, nem todos os setores apresentaram alta vulnerabilidade social, mas ao relacionar com o alto nível de ameaça, resultou em risco moderado.

Conforme o estudo, observa-se que nenhum setor apresentou classificação de baixo risco, devido à alta ameaça nas regiões analisadas, uma vez que, todas estão inseridas dentro da mancha de inundação do rio, e mesmo aqueles que apresentaram baixa vulnerabilidade ao combinar com a alta ameaça, gerou um risco de moderado a alto conforme critério de classificação adotado (Quadro 8).

Por fim, observa-se que o elevado grau de risco dos setores escolhidos pode ser justificado devido a grande quantidade dos elementos essenciais para o desenvolvimento e saúde (Quadro 11) e, principalmente, por estarem localizados dentro da mancha de inundação, dificultando assim que a população atingida pelas enchentes possa se recuperar dos danos causados pela catástrofe.

Ademais, através do entendimento das características físicas da bacia, percebendo que a mesma tem seu formato alongado, apresentando ramificações e possuindo uma baixa declividade, pode-se observar que os setores escolhidos estão localizados em uma área topograficamente baixa, como é exposto na Figura 15, culminando no maior acúmulo de água devido, também, ter maior contribuição do escoamento superficial com base na disposição do relevo local, confirmando, assim, a mancha elaborada pela CPRM e conferindo alta ameaça à inundação. Ao cruzar a ameaça com a vulnerabilidade, obteve-se a análise de risco com classificação alto e moderado, como pode ser observado na Figura 14.

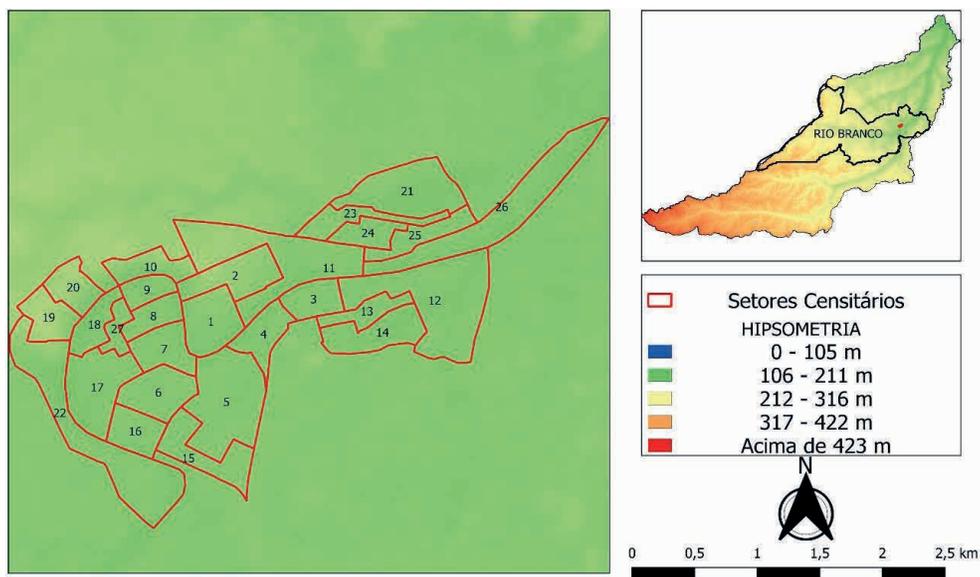



Figura 15 - Localização dos setores censitários no mapa hipsométrico da bacia do Rio Acre.

Fonte: Elaborada pelas autoras (2021)

6 I CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo principal analisar e mapear as áreas com maior risco às inundações ribeirinhas, onde através de informações do IBGE foi possível apurar dados das populações em regiões que são frequentemente afetadas pelas inundações do rio Acre (BR/PE/BO) desde o ano de 1988, porém os anos analisados foram apenas 2015 e 2021.

Inicialmente, foi possível delimitar a bacia do rio Acre e entender o funcionamento da mesma através das imagens do satélite SRTM e do software QGis em relação, principalmente, à sua forma e declividade, percebendo que a mesma é comprida, alongada, possui muitas ramificações e baixa declividade, mas o local de estudo está localizado em área topograficamente baixa, culminando no maior acúmulo de água no local.

Ademais, através dos dados pluviométricos, foi possível mensurar a quantidade de água de chuva no período estudado, justificando as grandes inundações das regiões próximas ao rio Acre. Já com os dados fluviométricos pôde-se obter as vazões do rio durante as datas escolhidas, além disso foi possível realizar o comparativo entre as cotas dos postos fluviométricos com as cotas de transbordo do rio, comprovando que o aumento das chuvas culminou, também, no aumento do nível do rio e vazão, provando as manchas de inundação, aumentando o risco da população que ali reside.

Em relação a análise do risco, o pesquisador Silva Jr (2010) utilizou-se de dados censitários oficiais e trabalho de campo da cidade de Alenquer – Pará, para o presente estudo a metodologia de utilizar dados censitários oficiais foi aplicada e adaptada para a cidade de Rio Branco – Acre, em que pôde-se observar que todos os grupos escolhidos possuem alta ameaça à inundação, mas, em relação à vulnerabilidade social, pode-se observar a variação entre baixa, moderada e alta, no qual é analisado com dados relacionados à população e os elementos presentes em cada setor.

Desta maneira, o estudo pode auxiliar no planejamento da cidade e ordenamento da população, diminuindo os riscos e ameaças que a sociedade vive, ocupando áreas incertas, principalmente as ribeirinhas, visto que essa análise, indica as áreas mais suscetíveis às inundações e certamente pode auxiliar o processo de crescimento ordenado da cidade.

Por fim, aconselha-se a realização de uma modelagem hidrológica e hidráulica para a obtenção de informações mais precisas e detalhadas das manchas de inundação da região estudada para diferentes cenários de precipitação. Além de sugerir aos governantes que as áreas de risco sejam consideradas no plano de urbanização da cidade, sobretudo a intensificação da fiscalização e monitoramento pelos órgãos competentes. No mais, pode-se sugerir a adoção de técnicas de controle na fonte do escoamento superficial, utilizando drenagem sustentável na bacia como um todo para reduzir os danos causados pelas inundações, bem como a conscientização da população que ali reside.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, R. E. S. **Os fatos sociais do enfrentamento da alagação de 2015 em Rio Branco- AC.** Porto Alegre, 2018. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/189975/001089900.pdf?seq uence=1 >, Acesso em: 30 de mai. de 2021.

ALMEIDA, L.; SERRA, J. C. V. **Modelos hidrológicos, tipos e aplicações mais utilizadas.** 2017. Disponível em: https://revistafae.fae.edu/revistafae/article/download/113/435. Acesso em: 03, de jun. de 2021.

AQUINO, A.; PALLETA, F.; ALMEIDA, J. **Vulnerabilidade Ambiental.** Editora: Edgard Blucher Ltda, 2017.

Arquivo USGS EROS - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Non-Void Filled. USGS, [s.d]. Disponível em: https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation- shuttle-radar-topography-mission-srtm-non?qt-science_center_objects=0#qt- science_center_objects. Acesso em: 12 de mai. 2021.

Bacia do Rio Acre - Características. **CPRM,** [s.d]. Disponível em: <https://www.cprm.gov.br/sace/acre_caracteristicas.php>. Acesso: 12 de abril de 2021.

Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas 2017 (BHO 2017). Catálogos de Metadados da ANA. [s.d]. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/0c698205-6b59-48dc-8b5e-a58a5dfcc989 > Acesso em: 10 de mai. de 2021.

Bases Cartográficas Contínuas. **IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** [s.d]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em: 23 de mai. de 2021.

BRASIL. **IBGE,** 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=0&uf=12 >. Acesso em: 23 de mai. de 2021.

Boletim nº 16/2021.Boletim de Monitoramento Hidrológico da Bacia do Rio Acre. **Serviço Geológico do Brasil- CPRM.** 30 de abril de 2021. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/sace/boletins/Acre/20210430_15-20210430%20-%20153411.pdf>. Acesso em: 29 de jun. de 2021.

CARVALHO, T. M.; BAYER, M. Utilização Dos Produtos Da “Shuttle Radar Topography Mission” (Srtm) No Mapeamento Geomorfológico Do Estado De Goiás. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v.9, n.1, p.35-41, 2008

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. (2006). **Hidrologia. Precipitação**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - RJ. Apostila. Cap. 4.

CPRM. Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Rio Branco - AC. **Serviço Geológico do Brasil- CPRM,** 2014. Disponível em: <://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/14861>. Acesso em: 22 de jun. de 2021.

Dados de Escolas. **QEDU,** 2012. Disponível em: <https://www.qedu.org.br/busca/101-acre >. Acesso em: 20 de abr. de 2021.

Dados de Hospitais. **ACRE.GOV.BR.** [s.d]. Disponível em: <http://acre.gov.br/hospitais-e-clinicas/>. Acesso em: 19 de abr. de 2021.

Dados de Instituições Públicas. **ACRE.GOV.BR.** [s.d]. Disponível em: <http://acre.gov.br/orgaos-e-entidades/ >. Acesso em: 19 de abr. de 2021.

DUARTE, A. F. Aspectos da climatologia do Acre, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia,** Acre, 2006. Disponível em: <http://acrebioclima.pro.br/abcpublications/Environment_and_Health/LBA023-2006_AFDuarte.pdf> . Acesso em: 02 de jun. de 2021.

HIDROWEB. **Agência Nacional de Águas**. 2005. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas >. Acesso em: 10 de mai. de 2021.

Imagens de satélite. **SRTM.** [s.d]. Disponível em: <http://dwtkns.com/srtm30m/>. Acesso em: 05 de mai. de 2021.

LOBLER, C.; SSCCOTI, A.; TERRA, L.; ERTEL, T.; SILVA, J. **Estudo comparativo entre imagens SRTM e cartas do exército para estudo plano altimétrico em bacias hidrográficas**. 2013. Disponível em: < https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/9168/pdf >. Acesso em: 05 de jun. de 2021.

Malha Territorial. **Florest gis,** [s.d]... Disponível em: <https://forest- gis.com/download-de-shapefiles/>. Acesso em: 30 de mai. de 2021.

MENDONÇA, R. R.; CALLEGARIO, L. S.; BUFFON, F. T.; GOMES, W. R.;

GRAMACHO, P. C.; BEZERRA, S. R. **Ação emergencial para delimitação de mancha de inundação, em resposta a enchente histórica ocorrida nos municípios de Brasiléia e Epitaciolândia, estado do Acre, no período de janeiro-março de 2015, por meio de imagem orbital Landsat-8.** 2015. Disponível em: < https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/16556 >. Acesso em: 03 de agosto de 2021.

QGIS- A liderança do SIG de código aberto. **Qgis,** [s.d]. Página Inicial. Disponível em: < https://www.qgis.org/pt_BR/site/about/index.html > Acesso em: 05 de jun. de 2021.

REBELO, F. **Riscos Naturais e ação antrópica: estudos e reflexões**. 2. ed. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra,2003. ISBN: 972- 8704- 17-8.

ROCHA, A. N.; SILVA, S. S.; SANTOS, C. G.; BROWN, I. F. **Uso de ferramentas de SIG para acelerar a avaliação de danos durante inundações: O exemplo do bairro da Cadeia Velha, Rio Branco, Acre, Brasil em 2015.** 2017. Disponível em: < http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2017/10.27.15.31.44/doc/59926. pdf >. Acesso em: 03 de agosto de 2021.

SILVA JR., O. M. **Análise de risco a inundação na cidade de Alenquer – Estado do Pará**. 2010. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission. **EMBRAPA**, [s.d]. Disponível em: https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/srtm. Acesso em: 15 de mai. 2021.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 4 ed. Rio Grande do Sul: UFRGS, 2012. p. 944. ISBN: 978-85-7025924-0

TUCCI, C. E. M., PORTO, R. L. L., BARROS, M. T. Drenagem urbana. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul/ABRH. Rio Grande do Sul, p.428, 1995

VALERIANO, M. M. **Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais.** São José dos Campos, SP: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-15318-RPE/818). 72p., 2008 (Boletim).

Viessmann; Knapp; Harbaugh. **Introduction to hydrology**, 2ª edição, New York, Harper and Row, p. 704.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada.** São Paulo: Mcgraw Hill, 1975.

COLETA SELETIVA CONSCIENTE NO DISTRITO FEDERAL; COUNSCIOUS RECYCLING COLLECTION IN THE FEDERAL DISTRICT

Data de aceite: 02/05/2023

Luciene dos Santos Velez
(In memoriam)
Bacharel em Ciência Politica pela UDF. idealizadora e coordenadora do Programa Coleta Seletiva Consciente do SLU/DF.

Luana Cristeli Sena
Engenheira Ambiental pela FUMEC, Especialista em Governança para Gestão Saudável e Sustentável do território pelo IFB e FIOCRUZ

RESUMO: O presente trabalho apresenta o desenvolvimento do programa Coleta Seletiva Consciente - CSC, um trabalho de mobilização social e educação ambiental para coleta seletiva realizado no Distrito Federal - DF, de forma descentralizada, com órgãos e lideranças locais, considerando as realidades e necessidades das diversas regiões administrativas que compõe o DF. Realizado pela equipe de mobilização social e educação ambiental pelo órgão de limpeza do DF, o programa Coleta Seletiva Consciente propôs a realização de um trabalho de articulação com lideranças, atores e governos locais pela construção de um Fórum de Diálogos sobre a coleta seletiva em cada região administrativa que tiver interesse em construir este espaço de participação social, governança e consequente contribuição na construção de políticas públicas que melhore a gestão ambientalmente adequada de resíduos e a coleta seletiva.

PALAVRAS-CHAVE: Mobilização social, educação ambiental, coleta seletiva, gestão de resíduos.

ABSTRACT: This paper presents the development of the Conscious` Recycling Collection program – CSC(in Portuguese), a work of social mobilization and environmental education for recycling collection held in the Federal District - DF, in a decentralized way, with agencies and local leaders, considering the needs and many realities of the Administrative Regions that make up the DF. Held by the team of social mobilization and environmental education of the urban cleaning municipality of the DF, the Conscious Recycling Collection program proposed the implementation of an articulation among leaders, actors and local governments to construct a Forum of Dialogues on recycling collection in each administrative region that has an interest in building this space of social participation, governance resulting in contribution in the

construction of public policies that improve the solid waste management environmentally and the recycling collection.

KEYWORDS: Social mobilization, environmental education, recycling collection, waste management.

INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) estabeleceu as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos e às responsabilidades dos geradores e do poder público, assim como a educação ambiental e a inclusão de associações e cooperativas de materiais recicláveis.

A política nacional de residuos sólidos contribuiu de forma estruturante para a inclusão de fato da coleta seletiva na agenda de governo do Distrito Federal com a inovação, ampliação e sustentabilidade da política Distrital de resíduos sólidos que envolveu entre outras ações, a construção do aterro sanitário de Brasília no ano de 2017, o fechamento do lixão da Estrutural, em 2018, conhecido como Aterro Controlado do Jóquei e considerado o segundo maior lixão em operação do mundo, com a oferta de serviços de coleta seletiva no âmbito do Distrito Federal de forma parcial e gradual, a inclusão das cooperativas e associações de catadores de materiais recicláveis como prestadores de serviço da coleta seletiva. Além da instalação de equipamentos públicos responsáveis pela destinação adequada dos resíduos, tais como: papa-lixo, papa-reciclável, papa-entulho, lixeiras papeleiras; Instalações de Resíduos Sólidos - IRR´S e 01 Centro de Triagem como espaços de trabalho digno e saudável, este segundo em parceria com a Secretaria do Meio Ambiente do Distrito Federal – SEMA.

Neste sentido, nos últimos 5 anos, o sistema de gestão dos resíduos no DF implantou coleta seletiva em 26 regiões administrativas do DF, firmou cerca de 29 contratos com 22 cooperativas de catadores de materiais recicláveis, como prestadores de serviço, incluindo ações de mobilização realizadas pelos catadores.

Entre o final de 2018 e início de 2019, com a ampliação dos serviços de coleta seletiva nas regiões administrativas, além do monitoramento e avaliação das ações do SLU, como também a inovação da equipe da Assessoria de Comunicação e Mobilização Social do SLU – ASCOM, surge o Programa Coleta Seletiva Consciente com novas reflexões agregadas às estratégias de como sensibilizar a população sobre a importância da separação e destinação adequada dos resíduos, entendendo os atores e atrizes da comunidade, da sociedade civil e dos governos como agentes estratégicos para impulsionar e contribuir com a efetividade do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos do DF, tendo o diálogo e a escuta como premissas para ampliar e fortalecer o empoderamento e a apropriação da comunidade.

OBJETIVO DO TRABALHO

O Programa Coleta Seletiva Consciente – PCSC tem como objetivo atuar nas dimensões cultural, de participação social e de educação ambiental para a efetivação da coleta seletiva nas regiões administrativas do DF. O PCSC foi colocado em prática na sua dimensão da participação social a partir da criação dos Fóruns da Coleta Seletiva, conjuntamente com as administrações regionais, a comunidade e a sociedade civil para articular ações de educação ambiental e de mobilização social nos territórios onde tem coleta seletiva, na perspectiva de formar multiplicadores, trocar saberes, atuar com divulgação em rede, identificar desafios e oportunidades para contribuir com a sustentabilidade ambiental das regiões administrativas a partir da separação e da destinação adequada dos resíduos.

Ademais, o programa tem a aderência ao componente "Conscientização da sociedade para práticas sustentáveis da economia circular (prevenção, redução, compartilhamento, reciclagem e reúso)", segundo consta na carteira de projetos do Polo Cerrado Circular (Programa Rotas de Integração Regional do Ministério de Desenvolvimento Regional – MDR), o que também fortalece o esforço para atingir os 17 objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), criados pela Organização das Nações Unidas (ONU). A prática da coleta seletiva pode contribuir com vários desafios do ODS – Agenda 2030, tais como: 04 – Educação e qualidade, 06 Água Potavel e Saneamento, 11 – Cidades e comunidades sustentáveis, 12 – Consumo e produção responsáveis, 13 – Ação contra a mudança global do clima, 17 – Parcerias e meios de implantação, 03 Saúde e Bem-estar, 14 - Vida na Água,

OBJETIVO GERAL

Apresentar a importância da criação dos Fóruns da Coleta Seletiva como componente do Sistema de Resíduos Sólidos do Distrito Federal, como espaços democrático de inclusão, mobilização, articulação e integração de atores e atrizes, públicos e comunitários, para contribuir com a sustentabilidade ambiental das administrações regionais do Distrito Federal.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conhecer e integrar atores governamentais e da sociedade civil das regiões administrativas do Distrito Federal como Agentes Comunitários da Coleta Seletiva no DF, para estimular a organização dos fóruns da Coleta Seletiva.
- Constituir uma instância de participação social para contribuir com a articulação, mobilização e educação ambiental em torno do tema da coleta seletiva nos territórios das administrações regionais do DF.

METODOLOGIA

O Fórum da Coleta Seletiva é uma tecnologia social de diálogos com a participação de atores públicos e comunitários para compartilhar experiências, trocar saberes, estimular a educação ambiental e mobilização social, na perspectiva de ampliar a democratização de como funciona o sistema de gerenciamento dos resíduos sólidos do Distrito Federal.

A metodologia de organização dos Fóruns da coleta seletiva tem como referência a defesa do educador Paulo Freire que garante o diálogo como instrumento pedagógico. O projeto Círculo de Cultura de Paulo Freire eram unidades educativas mais estruturadas que reuniam grupos diversos com interesses comuns. Os Fóruns da Coleta Seletiva são como grupos territoriais presentes nas regiões administrativas do DF com atores e atrizes com interesses comuns sobre pautas relacionadas aos resíduos e suas relações com o meio ambiente. Vale a pena ressaltar a importância do Programa Coleta Seletiva Consciente na sua dimensão da participação social como uma vontade política para a descentralização da política pública que fortalece a accountability a partir do incentivo para a constituição de instâncias de participação social regionalizadas com foco para os resíduos sólidos, em especial para a coleta seletiva. Esta importância é de valor imensurável pela sua premissa ser o diálogo que pressupõe escutas, trocas, respostas entre o governo e a comunidade.

A educação ambiental está colocada no PCSC como principal estratégia num espaço de diálogo para formação, sensibilização e troca de saberes, nos fóruns da Coleta Seletiva. Para Freire (1983), o diálogo é a essência da educação como prática de liberdade. (FREIRE, 2001, p. 25)". Freire também entende a essência da educação como prática de liberdade e percebe a educação ambiental enquanto um ato de amor que significa assumir a responsabilidade de transformação da realidade em que se vive.

O arranjo institucional do Programa Coleta Seletiva Consciente na dimensão participação social. leva em conta como é a participação dos atores exercidos por cada agente e ao contexto local e contribui para que o governo realize o projeto desejado.(Lotta e Vaz – 2015), Desta forma, atores públicos, comunitários e da sociedade civil, assumem traços específicos de acordo com o seu papel, na construção de uma sinergia em torno do tema da coleta seletiva nos territórios das administrações regionais.

Passo a passo para implementação do programa coleta seletiva consciente na região administrativa:

1º Passo – Escuta e contribuições das estratégias para o programa pelas administrações regionais;

2º Passo – Identificação e Articulação da administração regional, por meio das suas diretorias, gerências e assessorias dos atores e atrizes, públicos e comunitários para conhecer e colaborar na criação do programa.

3º Passo – Realização de reuniões com atores identificados;

4º Passo – Criação do Fórum de Diálogos da Coleta Seletiva para planejamento das

ações pelos seus participantes, organizado em grupo de whatsapp.

RESULTADOS

A constituição dos Fóruns da Coleta Seletiva com atores públicos e comunitários fortalece a identidade territorial que é construída a partir da participação de pessoas em processos de mobilização social, envolvimento em organizações comunitárias, na perspectiva de que ao longo do tempo seja fortalecido o sentimento de pertencimento.

No mapa abaixo podemos observar 08 regiões administrativas com Fóruns da Coleta Seletiva criados entre os anos de 2019 e 2020, as regiões mapeadas foram Brazlândia, Ceilândia, Cruzeiro, Guará, Lago Norte, Lago Sul e Paranoá. O percentual de abrangencia dos Fóruns é de 30%, considerando as 26 regiões administrativas com serviços de coleta seletiva parcial ou total.

Figura 1 – Mapeamento dos atores locais

Fonte: Douglas Gasparini de Lima

Os instrumentos de Institucionalização utilizados foram: Envio de ofício de adesão via Sistema Eletronioc de Informações - SEI entre o SLU e administrações regionais, articulação de órgãos públicos e instituições locais diversas, diagnostico rapido participativo, relatórios de reunião, elaboração e distribuição de materiais de divulgação de ações em prol da coleta seletiva, criação do grupo de whatsapp do Fórum da Coleta Seletiva em cada região administrativa, construção do mapa da mobilização da coleta seletiva e posterior monitoramento e avaliação das ações, conforme podemos observar na figura 2.

Figura 2 – Esquema das ações processuais do PCSC

Fonte: As autoras

ANALISE DOS RESULTADOS

O perfil dos Agentes Comunitários da Coleta Seletiva identificados para mapeamento como atores públicos e comunitários, demonstra que existe uma identidade de território expressiva no perfil desses atores que motiva a participação em espaços coletivos. Essa identidade de território pode ser identificada com o sentimento de pertencimento e empoderamento percebidos a partir das suas atuações em projetos, organizações e movimentos diversos em prol da melhoria da qualidade de vida das suas regiões administrativas.

Como os Fóruns foram instituídos num período atípico que vivemos devido a pandemia COVID-19, os encontros são virtuais e as ações de educação ambiental, mobilização, entre outras são realizadas de forma virtual. Podemos entender o ambiente virtual dos Fóruns como espaço de trocas de saberes. Foram realizadas palestras sobre temas relacionados aos resíduos, compostagem, coleta seletiva, seminário sobre a semana lixo zero Brasília, bem como drive thru para recebimento de recicláveis.

Abaixo, seguem algumas propostas de ações que foram sugeridas em todos os Fóruns de Dialogo, tais como:

- Produção de materiais de divulgação sobre descarte adequado, coleta seletiva, uso de equipamentos públicos e gestão de resíduos, com a identidade local para multiplicar saberes;
- Realização de palestras e encontros de educação ambiental para formação de multiplicadores;
- Inclusão de uma coluna para tratar da coleta seletiva nos boletins das administrações regionais e demais instituições dos Fóruns da coleta seletiva – já acontece parcialmente

- Mobilizações presenciais envolvendo vários segmentos da sociedade, como em mutirões de limpeza da cidade;

De um modo geral, foi observado um grande interesse dos participantes em entender o funcionamento da gestão de resíduos para que possam disseminar a informação e constribuir com a manutenção da limpeza das RA´s. Entretanto foi observado também a necessidade de aporte financeiro, para realização das campanhas, atividades e eventos, o que promoveria maior alcance e engajamento no programa.

CONCLUSÕES

O Programa Coleta Seletiva Consciente – PCSC aqui apresentado somente sobre o seu eixo participação social, com foco para a criação dos Fóruns da Coleta Seletiva, demonstra a existência de interesses da comunidade e do setor público na construção integrada de políticas públicas.

Consideramos que a continuidade do Programa com a ampliação dos Fóruns para as demais regiões administrativas com serviços de coleta seletiva é possível e pode ser consolidar numa grande rede integradora do tema dos resíduos no Distrito Federal podendo colaborar com a efetividade das ações que compõem o sistema de gerenciamento de resíduos no Distrito Federal.

Cabe aqui pincelar rapidamente, nos primeiros momentos de construção do Programa Coleta Seletiva Consciente, a lógica era ofertar troca de saberes como educação ambiental para depois organizar o processo de constituição dos Fóruns da Coleta Seletiva. Esse momento envolveu as regiões administrativas do núcleo Bandeirante, Cruzeiro, Riacho Fundo I, Candangolândia, Plano Piloto- Asa Norte e Ceilândia e foi valoroso para a percepção e avaliação do PCSC. A avaliação permitiu adotar a constituição do Fórum no primeiro passo na metodologia do PCSC, considerando principalmente uma de suas funções estratégicas que é a de contribuir com a continuidade das ações nos territórios das administrações regionais.

Neste sentido, é recomendavel que seja feita a ampliação do Programa Coleta Seletiva Consciente, com a criação dos Fóruns de Dialogo nas demais regiões administrativas que recebem a oferta de serviços da coleta seletiva. Assim as necessidades locais são mapeadas e resolvidas, o que melhora o egajamento da população e a melhoria da gestão de resíduos no território.

A constituição de uma instância interna no âmbito do SLU, foi observada como uma necessidade das regiões administrativas, para que às demandas técnicas apresentadas nos Fóruns possam fortalecer a relação de confiança entre os Agentes Comunitários da Coleta Seletiva, e consequentemente fortaleça a acocoutability.

Um dos principais desafios apontados pelos Fóruns é a afios: a necessidade de uma campanha de comunicação expressiva para envolver a comunidade de uma forma mais

ampla, o diálogo sobre o circuito da coleta seletiva na perspectiva da inclusão de áreas ou setores ainda não cobertos com a oferta dos serviços da coleta seletiva.

Como ponto alto do trabalho podemos destacar a mobilização social realizada por catadores(as) de materiais recicláveis das organizações prestadoras de serviço para o SLU, o que contribui de forma mais efetiva para a sensibilidade da comunidade sobre a separação e destinação adequada dos resíduos.

O Fórum se fortaleceu como espaço integrador e disseminador do tema dos resíduos nas ações e iniciativas diversas realizadas pelos atores e atrizes nas suas instituições e comunidade. O Fórum também se forteleceu como espaço de produção de saberes e controle social sobre os problemas identificados na oferta dos serviços de coleta seletiva, além de estimular o envolvimento e comprometimento dos seus integrantes na organização das reuniões e acompanhamento das ações.

REFERÊNCIAS

1. *FREIRE, Paulo. Pedagogia do oprimido. 12 ª edição. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1983;*

2. *Como Chega a Hora de Uma Ideia. John, Kingdon - Políticas Públicas – Coletânea – Volume 1. Capítulo III - Formação da Agenda. Organizadores: Enrique Saraiva e Elisabete Ferrarezi,pg.222*

3. *Políticas Públicas – Coletânea – Volume 1. – Diniz (1996 e 1991) – Nunes (1971)*

4. *Longuinho, Luísa de Paulo. Capacidades estatais para a promoção da participação social [manuscrito] : uma análise dos Fóruns Regionais de Governo de Minas Gerais / Luísa de Paulo Longuinho. – 2017. [11], 131.*

5. *Almeida Maria das Graças – Artigo – A Construção da Identidade: O eu e o Nós na educação popular e no desenvolvimento local. http://acervo.paulofreire.org:8080/handle/7891/3847*

6. *Castells, Manoel – O Poder da Identidade – São Paulo: Paz e Terra, 1999*

7. *Abreu, Maria de Fátima Do lixo* à *Cidadania- CAIXA – 2001*

8. *Paulo Freire e a Educação Ambiental como Ato político: Uma Reflexão Necessária*

9. *Toro Bernardo José; Werneck Duarte Maria Nisia;Mobilização Social – Um Modo de Construir a Democracia e a participação*

10. *Lopes Aguiar Everardo; Redes Sociais Locais: Afetividade que gera efetividade nas políticas públicas*

11. *http://www.comcom.fac.unb.br/images/docs/mobilizacao-social-bernardo-toro-e-nisia-maria-duarte-wern eck.*

12. *GOVERNANÇA E ACCOUNTABILITY: ALGUMAS NOTAS INTRODUTÓRIAS Carla Bronzo Ladeira Carneiro. https://www.academia.edu/8987385/TEXTO_PARA_DISCUSS%C3%83O_No_13_GOVERNAN%C3%87 A_E_ACCOUNTABILITY_ALGUMAS_NOTAS_INTRODUT%C3%93RIAS?bulkDownload=thisPaper-to pRelated-sameAuthor-citingThis-citedByThis-secondOrderCitations&from=cover_page*

13. *BRASIL, 2010. Lei no12305/2010, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm.*

14. *BRASIL, 2007. Lei no 11.445/2007-Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2007/lei-11445-5-janeiro-2007-549031-normaatualizada-pl.pdf.*

15. *http://www.slu.df.gov.br/wp-content/uploads/2019/01/Relatório-de-Atividades-Janeiro-a-Setembro-Última* -Versão-17.12.2018.pdf

16. *http://www.codeplan.df.gov.br/atlas-do-distrito-federal-2020/*

17. *http://cempre.org.br/cempre-informa/id/54/a-acao-em-torno-dos-17-objetivos-de-desenvolvmento-sustent avel*

BIODIGESTOR SEMI-CONTÍNUO DESENVOLVIDO PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA CO-DIGESTÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS DE BAIXA BIODEGRADABILIDADE

Data de aceite: 02/05/2023

Claudinei de Souza Guimarães
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Escola de Química
Departamento de Engenharia Bioquímica
http://lattes.cnpq.br/4751042363197664

RESUMO: O principal objetivo deste trabalho foi desenvolver um biodigestor anaeróbio automatizado com capacidade de operar em sistema semi-contínuo ou batelada para produção de biogás. Biomassa com baixa biodegradabilidade tem pouca eficiência na produção de biogás por processos de digestão anaeróbia e uma alternativa eficiente está na utilização de bioprocessos em sistema semi-contínuo. Foram realizados dois experimentos nas mesmas proporções, mas processos diferentes, e todos os parâmetros de controle e automação foram testados e avaliados. Para teste foi utilizado misturas de resíduo orgânico, lodo anaeróbio (inóculo) e esgoto bruto sem qualquer tratamento da estação de tratamento de esgoto, em fase mesofílica (37ºC), durante 60 dias de experimento. O sistema semi-contínuo apresentou maior redução de matéria orgânica, expressa com a remoção de 80,7% Sólidos Voláteis (SV) e o maior volume (68,5L) e porcentagem de metano (78,5%). Por fim, com estes e outros resultados encontrados foi possível concluir que o biodigestor desenvolvido para sistema semi-contínuo, com o sistema de automação e controle foi satisfatório para a redução da matéria orgânica e produção de biogás. Além de todos os parâmetros operacionais funcionando corretamente e com a utilização de tecnologias atuais e de baixo custo, tornando viável a aplicação e desenvolvimento em maior escala no futuro.
PALAVRAS-CHAVE: Biodigestor, Biogás, Co-digestão, Automação de processos.

SEMI-CONTINUOUS BIODIGESTER DEVELOPED FOR THE PRODUCTION OF BIOGAS FROM THE CO-DIGESTION OF LOW BIODEGRADABILITY ORGANIC WASTE

ABSTRACT: The main objective of this work was to develop an automated anaerobic digester capable of operating in a semi-continuous or batch system for the production of biogas. Biomass with low biodegradability has little efficiency in the production of biogas by anaerobic digestion processes and an efficient alternative is the use of bioprocesses in a semi-continuous

system. Two experiments were carried out in the same proportions, but different processes, and all control and automation parameters were tested and evaluated. For the test, mixtures of organic waste, anaerobic sludge (inoculum) and raw sewage without any treatment from the sewage treatment plant were used, in the mesophilic phase (37ºC), during 60 days of experiment. The semi-continuous system showed the greatest reduction of organic matter, expressed with the removal of 80.7% Volatile Solids (VS) and the greatest volume (68.5L) and percentage of methane (78.5%). Finally, with these and other results found, it was possible to conclude that the biodigester developed for a semi-continuous system, with the automation and control system, was satisfactory for the reduction of organic matter and biogas production. In addition to all operating parameters working correctly and using current and low-cost technologies, making the application and development on a larger scale in the future.
KEYWORDS: Biodigester, Biogas, Co-digestion, Process automation.

1 I INTRODUÇÃO

Um dos principais problemas ambientais da sociedade atual é o aumento contínuo da produção de resíduos sólidos orgânicos e seus descartes com baixa biodegradabilidade, além do esgoto. Em muitos países, os gerenciamentos sustentáveis de resíduos, assim como a prevenção e redução de resíduos, tornaram-se importantes prioridades políticas, representando uma parcela importante dos esforços comuns para reduzir a poluição e mitigar as mudanças climáticas globais (VENKATESH; ELMI, 2013; BEDOIC´ *et al*., 2021). Um gerenciamento inteligente dos resíduos orgânicos possibilita a recuperação energética, seja ela realizada pela ainda tradicional incineração ou pela compostagem e digestão anaeróbia (ERIKSSON *et al*., 2005; BOLZONELLA *et al*., 2006). Sendo assim, uma alternativa de recuperação energética dos resíduos orgânicos é o uso do biogás, seja ele gerado nos aterros sanitários ou em processo de digestão anaeróbia (LI *et al*., 2020). O processo de digestão anaeróbia realizados em biodigestores anaeróbios pode desempenhar um papel significativo em questões fundamentais para a sociedade: gerenciamento e tratamento de resíduos e esgoto e a produção de energia renovável (AUDU *et al*., 2020). Além de estabilizar a carga orgânica de resíduos, gera produtos como biogás, rico em metano, e digerido, que pode ser utilizado como condicionador de solo, historicamente utilizado para estabilizar lodo oriundo de tratamento de esgoto, embora seja uma aplicação viável para qualquer tratamento da matéria (HAGOS *et al*., 2017). Também é importante destacar a aplicação de processos anaeróbios em pequena e grande escala, com baixo custo de implantação, baixa demanda de área e boa tolerância a altas cargas orgânicas (LI; PARK; ZHU, 2011). Portanto, a produção de biogás e o desenvolvimento de tecnologias para geração de biometano têm sido incentivados por muitos países como alternativa para geração de eletricidade ou cogeração de motores internos (CHERNICHARO, 1997; BUDZIANOWSKI; BUDZIANOWSKA, 2015).

O biodigestor é uma alternativa para o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

previsto nas Organizações das Nações Unidas e contribui para a redução das emissões dos poluentes na atmosfera (ONU, 2022). Além disso, promove o desenvolvimento sustentável local pelo tratamento dos resíduos orgânicos gerados por uma determinada atividade, possibilitando, além da energia, o uso final do resíduo como um biofertilizante, reduz a geração de energia elétrica de fonte não renovável e reduz o consumo de água de processos (PATTERSON *et al.*, 2011). O uso do biodigestor permite melhorar as condições sanitárias das propriedades, resultando na qualidade de vida e da saúde da população e do ambiente. Atualmente, os biodigestores construídos no Brasil e em diversos países são dispendiosos, principalmente na implantação e operação. Um dos principais motivos é a falta de tecnologia nacional, principalmente, dos sistemas de monitoramento, controle e automação.

No entanto, para viabilização da geração de energia, é necessário o uso de biodigestores anaeróbios, construídos a baixo custo e com alta tecnologia, apesar de sua tecnologia moderna, e métodos simples de utilização do sistema visando a reprodutibilidade em larga escala e aplicação industrial. Desta forma, o objetivo principal deste estudo foi desenvolver biodigestores anaeróbios em sistema semi-contínuo, com sistemas de controle e automação, a fim de desempenhar um papel significativo em duas questões cruciais para a sociedade e na proteção ambiental e recuperação de recursos. Outro aspecto muito importante, além de produzir tecnologia nacional, será diminuir a problemática dos descartes de resíduos orgânicos e esgoto na comunidade, área rural e industrial, diminuindo a quantidade desses resíduos no ambiente e gerando novas fontes de energia para os próprios geradores desses resíduos e como alternativa de digestão anaeróbia de biomassa com pouca biodegradabilidade.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Desenvolvimento e Construção do Biodigestor

A concepção desse projeto teve como fundamentos principais a utilização de materiais resistentes ao ambiente do processo de digestão anaeróbia e o desenvolvimento de sistemas com tecnologias atuais e métodos simples e robustos de utilização. Diante do exposto, optou-se pelo desenvolvimento de biodigestores anaeróbios verticais encamisados, em escala de bancada, em um único estagio, com alimentação semi-contínua ou batelada e equipado com sistemas de aquecimento com um elemento de aquecimento externo ao biorreator, agitação por meios mecânicos utilizando um eixo longo e com entrada vertical ao biorreator, coleta e armazenamento de biogás e controle, monitoramento e automação. Nesse projeto foi desenvolvido um biorreator encamisado em vidro, com geometria cilíndrica, com um volume nominal de 1,3 L e as seguintes dimensões: altura 170 mm, diâmetro 100 mm e espessura da parede de três mm. A camisa apresenta o mesmo volume do biorreator e com dimensões de 190 mm de altura, 150 mm de diâmetro e espessura

de parede de 3 mm. A primeira etapa desse trabalho foi o desenvolvimento de um modelo 3D e do desenho técnico, utilizado para fabricação, do biorreator com o uso do software Solidworks, versão 2019. Cabe destacar que esse software foi utilizado para a criação dos modelos 3D e desenhos técnicos de todas as peças e montagens desenvolvidas nesse projeto. Na Figura 1 é apresentado o modelo 3D do biorreator.

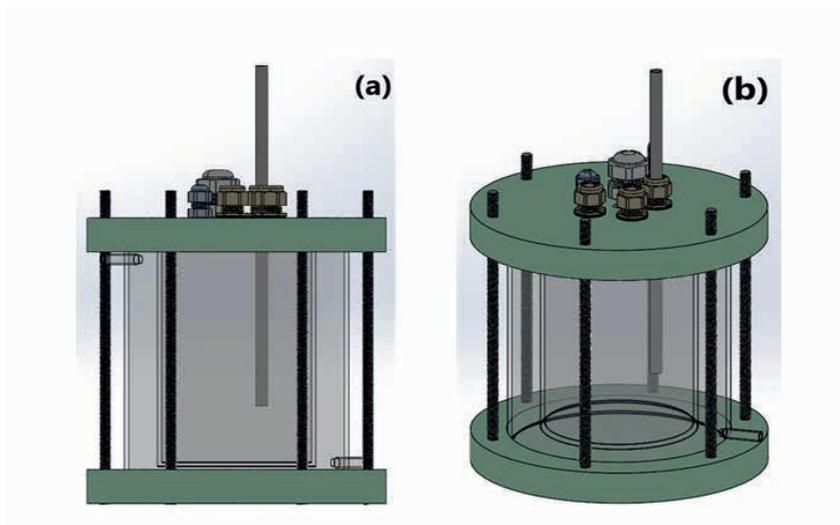



Figura 1 – Modelo 3D do biorreator. (a) vista frontal e (b) vista isométrica.

Fonte: Autoria própria (2023).

2.1.1 Desenvolvimento e construção do sistema de aquecimento

O sistema de aquecimento foi embasado em um elemento de aquecimento externo ao biorreator. A transferência de calor ocorre através do aquecimento de um fluido térmico, por meio de uma resistência elétrica, transferido para a camisa do biorreator por bomba centrífuga. O projeto desse sistema é composto por um recipiente, para comportar o fluido térmico, uma resistência elétrica, uma tampa para o recipiente, um poço termométrico para um sensor de temperatura e uma bomba d`água. O recipiente para comportar o fluído térmico foi projetado, em modelo 3D, com geometria cilíndrica, com um volume nominal de 1,7 L, para ser confeccionado em vidro e as seguintes dimensões: altura 150,0 mm, diâmetro 136,0 mm e espessura da parede de 3,0 mm. Esse sistema de aquecimento foi projeto para utilizar como elemento de aquecimento uma resistência, tipo cartucho, comercial com as seguintes características: 12,7 mm de diâmetro, 152,4 mm de comprimento e uma potência entre 850-1000 Watts (W); um poço termométrico reto, em aço inoxidável, e com um diâmetro interno de 6 mm e uma bomba d’água alimentada com 12 Volts Corrente Contínua (VCC).

2.1.2 Desenvolvimento e construção do sistema de agitação

Nesta etapa, foi desenvolvido um modelo de agitação por meios mecânicos utilizando um eixo longo e com entrada vertical ao biorreator. Esse modelo proporciona uma mistura melhor em comparação às barras magnéticas de agitação e foi projetado para utilizar um motor elétrico, com controle de velocidade, e uma haste de agitação. Foi desenvolvido uma haste de agitação com hélice de pás retas, em aço inoxidável. A passagem e o movimento de rotação da haste na tampa do biorreator são um ponto sensível na vedação do sistema ao ar ambiente. Portanto, nesse projeto foi utilizado um sistema de dupla vedação utilizando um retentor com dimensões de 8,00 mm x 14,00 mm x 3,00 mm e um anel de vedação com diâmetro de seção de 3,53 mm e diâmetro interno de 7,52 mm.

2.1.3 Desenvolvimento e construção do sistema de controle, monitoramento e automação

O sistema de controle, monitoramento e automação escolhido para compor o biodigestor foi um Controlador Lógico Programável (CLP) que se comunica com um microcomputador por meio de um software supervisório. Esse sistema foi desenvolvido por completo: hardware, firmware e software supervisório (GUIMARÃES; MAIA, 2018). O hardware projetado pode ser dividido em quatro partes principais: microcontrolador - Unidade Central de Processamento, módulos de entrada e condicionamento de sinais dos sensores, módulos de saída e potência e comunicação entre o microcomputador–microcontrolador. A concepção desse hardware visou atender as seguintes necessidades do sistema: três entradas analógicas, para os sensores de temperatura e pH; cinco atuadores de potência — para a resistência elétrica, bomba d'água, motor de agitação e 2 bombas peristáltica — e o sistema de comunicação entre o microcomputador–microcontrolador, conforme apresentado na Figura 2. Na parte da unidade central de processamento foi utilizado o microcontrolador PIC16f877a, do fabricante Microchip. Esse Circuito Integrado Programável (PIC) foi designado em virtude de suas características atenderem a todas as necessidades preestabelecidas nesse projeto.

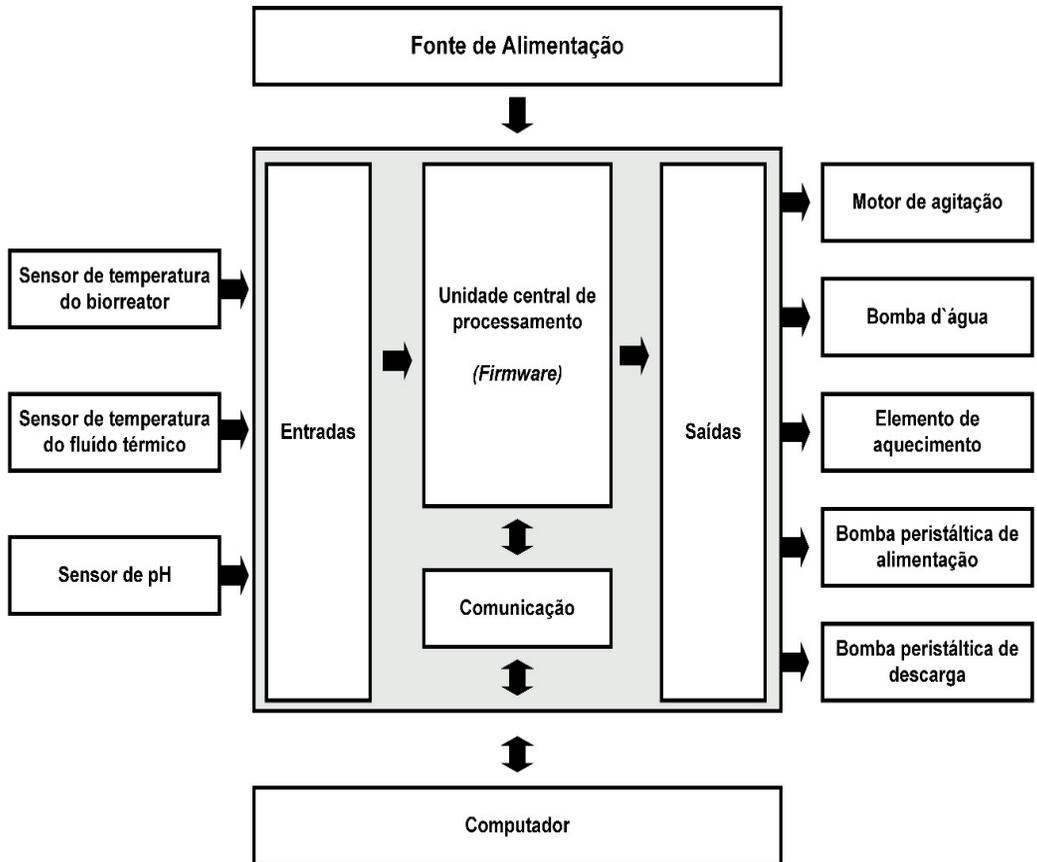



Figura 2 – Esquema completo do Controlador Lógico Programável.

Fonte: Autoria própria (2023).

2.1.4 Desenvolvimento do software supervisório

O software supervisório de controle, monitoramento e automação foi desenvolvido por meio do software Microsoft Visual Studio 2012 utilizando a programação orientada a objetos e a linguagem de programação Visual Basic.NET (VB.NET) e teve como requisitos, definidos na sua concepção inicial, o monitoramento online de temperatura e pH, controle automatizado de acionamento da bomba d`água e motor de agitação e de temperatura, sistema de alarme para os principais parâmetros críticos, armazenamento de dados coletados em um banco de dados, análise e visualização dos parâmetros monitorados in loco e por acesso remoto.

2.1.5 Construção e desenvolvimento de um sistema de coleta e armazenamento de biogás

O processo de alimentação contínua requer o desenvolvimento de um sistema de

coleta antirrefluxo e armazenamento de biogás em razão das diferentes pressões formadas no sistema durante a entrada/saída de material e a formação do biogás. A concepção do sistema para esse projeto é composta por frasco lavador de gás sem placa porosa comercial, uma válvula de retenção de baixa pressão e um dispositivo de armazenamento do biogás gerado. Nesse sistema foi desenvolvido, em substituição ao frasco lavador, uma armadilha gás/líquido utilizando um frasco reagente, com um volume de 250 mL, e dois conectores do tipo engate rápido com o intuito de proteger a válvula de retenção e o dispositivo de armazenamento de biogás. Para armazenamento de gás foram utilizadas bolsas de tedlar de 5 L, obtidas da Sigma Aldrich, também conhecidas como bolsas de coleta para gases. Essas bolsas são construídas de um finíssimo filme de tedlar, que se caracteriza como material não reativo, além de ser extremamente baixo em permeabilidade e flexível numa vasta faixa de temperaturas. O biogás gerado no biodigestor foi direcionado a bolsa de coleta de gases através de uma mangueira de Poliuretano.

2.2 Caracterização das amostras para testar a operacionalidade do biodigestor desenvolvido e produção do biogás

Com o objetivo de avaliar o desempenho operacional do biodigestor desenvolvido e a eficiência da produção de biogás, foram realizados dois experimentos, sendo o primeiro com bioprocesso em batelada e o outro em sistema semi-contínuo de uma co-digestão de resíduo alimentar, lodo anaeróbio (inóculo) e esgoto bruto. A amostra de esgoto bruto foi obtida antes de qualquer tipo de tratamento da estação de tratamento de esgoto. A caracterização foi realizada em termos de umidade, pH e Sólidos Totais (Voláteis e Fixos). O lodo anaeróbio utilizado como inóculo nos experimentos foi coletado do reator UASB em operação de uma indústria local, sendo realizadas as mesmas caracterizações para o esgoto bruto e depois da caracterização, o lodo foi armazenado sob refrigeração (4ºC) até o momento do uso. Todas as análises foram determinadas de acordo com (APHA, 2005). A coleta dos resíduos alimentares foi realizada após o período de refeição no restaurante da Universidade Federal do Rio de Janeiro, onde a sobra removida dos pratos e utensílios era submetida a uma triagem, para separação da fração orgânica, e homogeneizada por meio de quarteamento, conforme norma brasileira (ABNT, 2004). Em seguida, o material homogeneizado era triturado com água destilada nas devidas proporções, sendo parte do material triturado (denominado resíduo alimentar) armazenado sob refrigeração (4ºC) até o momento de uso e parte preservado em freezer (-20ºC). Os dois experimentos foram conduzidos na mesma proporção durante 60 dias, com adição de lodo anaeróbio (inóculo) na proporção de 20%, para avaliação do efeito da semeadura. No sistema em batelada só teve uma adição das misturas (resíduo, esgoto bruto e lodo) no início do experimento e no sistema semi-contínuo era alimentado nas mesmas proporções das misturas até que completasse 1L do volume do biodigestor, de 15 em 15 dias durante a realização do experimento. A umidade selecionada, também, foi usada como base para a mistura

dos resíduos nos experimentos no biodigestor. As misturas tiveram seu pH corrigido para valores entre 7 e 8 empregando-se solução 1 M de bicarbonato de sódio ($NaHCO_3$). Nestes experimentos, as análises de Sólidos Totais (voláteis e fixos), umidade e pH eram realizadas em triplicata antes e após o processo de digestão anaeróbia.

2.3 Caracterização do biogás produzido

A caracterização do biogás produzido foi feita para os compostos de CO_2, CH_4 e H_2S e realizadas por cromatografia em fase gasosa (CG). Foram feitas curvas de calibrações com 6 pontos de concentrações definidos. Todas as amostras foram realizadas em duplicatas com padrões da White Martins e erros menores que 5%. As condições cromatográficas para o CO_2 e CH_4 são descritas a seguir: CG Agilent Technologies, modelo 7820A com detectores de condutividade térmica (DCT) e de ionização de chamas (DIC). Tipo de Coluna: HP-PLOT Q; Entrada com divisor de Fluxo 2:1; Aquecedor: T = 200 ºC, P = 8 psi; Coluna: Fluxo = 7 mL/min, P = 8 psi, P = constante; Forno: T = 35ºC, Tempo = 6,0 minutos, Fluxo referência = 26 mL/min, Fluxo auxiliar = 5 mL/min e Gás de Arraste = He. As condições cromatográficas para o H_2S foram: Varian CP-4900 Micro CG com detector DCT, Coluna PoraPlot Q (PPQ), Pressão da Coluna = 21 psi, Temperatura do Injetor = 80°C, Temperatura da Coluna = 50°C, Tempo de Injeção = 20 ms, Tempo = 100 s e Gás de Arraste = He.

3 | RESULTADOS

3.1 Construção do biorreator

O biorreator é a parte central do processo de produção de biogás. A Figura 3 apresenta o biorreator encamisado, confeccionado em vidro e com um volume de 1,3 L e as seguintes dimensões: altura 170mm, diâmetro 100mm e espessura da parede de 3mm. A camisa apresentou o mesmo volume do biorreator e com dimensões de 190mm de altura, 150mm de diâmetro e espessura de parede de 3mm. Para manter o ambiente hermeticamente fechado foram projetadas uma tampa e a uma base para fixação, em poliuretano, unidas por barras rosqueadas, com porcas borboletas, que permitem manter o biorreator hermeticamente fechado. Além de 5 bocas com conectores em nylon que viabilizaram a fixação do poço termométrico, de uma sonda de pH comercial, da mangueira de retirada de biogás e as mangueiras de entrada/saída de material.

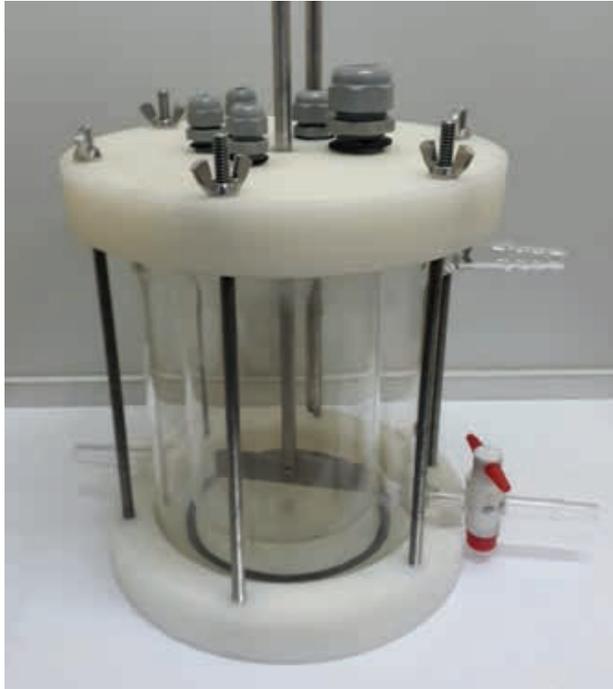



Figura 3 – Biorreator encamisado completo desenvolvido.

Fonte: Autoria própria (2023).

3.2 Construção do biodigestor com sistemas de aquecimento e agitação

O fornecimento de calor a um biodigestor tem como propósito manter constante a temperatura no interior do biorreator. A resistência utilizada do tipo cartucho com 1000 W de potência e a bomba d’água adquiridas para serem utilizadas no sistema de aquecimento. Foi desenvolvido um modelo de agitação por meios mecânicos utilizando um eixo longo e com entrada vertical ao biorreator e que opere com lenta rotação dos agitadores, em intervalos de tempo breves e previamente definidos. Para efetuar a rotação da haste de agitação foi adquirido e utilizado um agitador mecânico digital, bivolt e com dois eixos de acionamento. A Figura 4 apresenta o sistema de aquecimento e agitação do biodigestor desenvolvido.

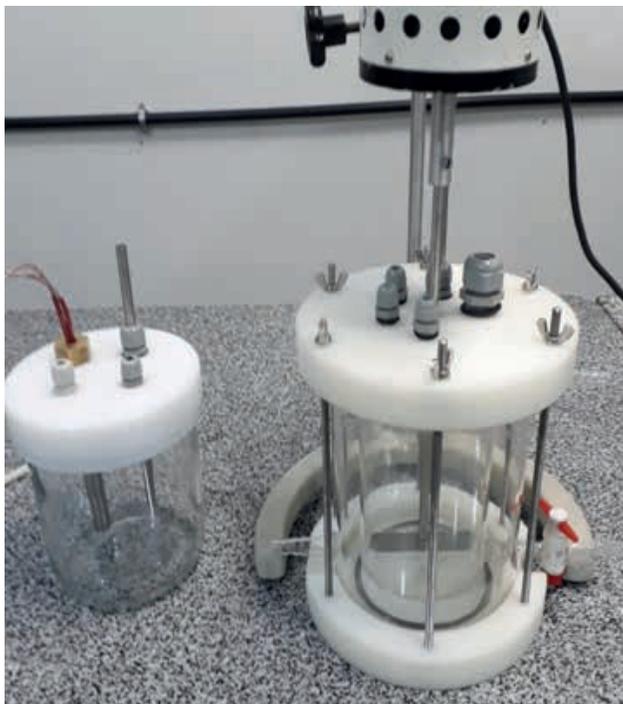



Figura 4: Biodigestor com sistema de aquecimento e agitação

Fonte: Autoria própria (2023).

3.3 Construção da unidade de controle e desenvolvimento do software supervisório

O Controlador Lógico Programável é um equipamento eletrônico digital, composto por um hardware e um software embarcado (firmware), que desempenha funções de automação, controle e monitoramento. Após a montagem do hardware e a programação e gravação do firmware o CLP, as fontes de alimentação, a bomba d´água e as válvulas peristálticas, utilizadas no sistema de entrada e retirada de material do biorreator, foram acondicionadas em uma caixa metálica desenvolvida para esse projeto, conforme apresentado nas Figuras 5 e 6. O supervisório desenvolvido é um tipo de software para supervisão e controle de processos em tempo real e aquisição de dados e teve por objetivo realizar todas etapas em interfaces simples e intuitivas.

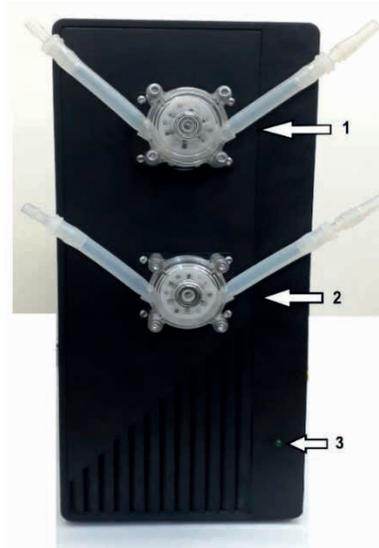
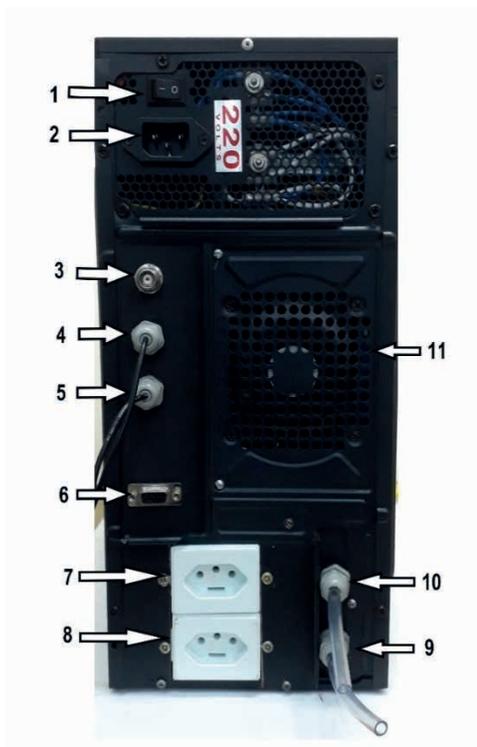



Figura 5: Vista frontal da unidade de controle. (1) Bomba peristaltica de entrada de material, (2) Bomba peristaltica de saída de material e (3) Led indicativo alimentação de energia do sistema.

Fonte: Autoria própria (2023).

1 - Botão liga/desliga.

2 – Entrada cabo de alimentação.

3 – Conector sensor de pH.

4 – Sensor de temperatura do biorreator.

5 – Sensor de temperatura do fluído térmico.

6 – Conector de comunicação rs232.

7 – Alimentação AC da resistência.

8 - Alimentação AC do agitador.

9 – Entrada do fluído térmico para bomba de circulação.

10 – Saída do fluído térmico para bomba de circulação.

11 – Ventoinha.

Figura 6: Vista posterior da unidade de controle.

Fonte: Autoria própria (2023).

3.4 Sistema operacional completo do biodigestor

Um esquema completo do biodigestor anaeróbio vertical encamisado, em escala de bancada, em um único estagio, podendo ser utilizado em sistema semi-contínua ou batelada e equipado com sistemas de aquecimento, agitação por meios mecânicos, coleta e armazenamento de biogás e controle, monitoramento e automação, desenvolvido e utilizado nesse projeto está representado na Figura 7.

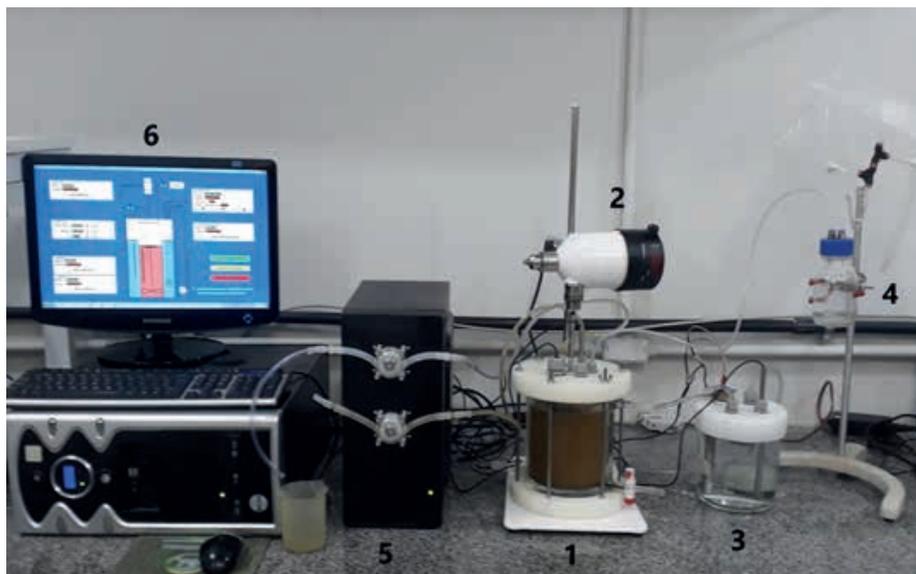



Figura 7: Experimentos de operacionalidade e eficiência nos biodigestores construídos. (1) Biorreator, (2) Sistema de agitação, (3) Sistema de aquecimento, (4) Sistema de coleta e armazenamento de biogás, (5) unidade de controle e automação e (6) Software supervisório.

Fonte: Autoria própria (2023).

3.5 Teste operacional do biodigestor desenvolvido e construído para produção de biogás

3.5.1 Caracterização dos resíduos

Durante a etapa de eficiência entre a produção de biogás com biodigestor em sistema semi-contínuo e a operação em sistema em batelada, foram feitas três coletas do lodo secundário, resíduo alimentar e esgoto bruto antes do tratamento na estação de tratamento de esgoto para Os Sólidos Fixos Totais (SFT), Sólidos Voláteis Totais (SVT), pH e Nitrogênio Total (TKN). As caracterizações são apresentadas na Tabela 1.

Parâmetros	Resíduo alimentar (Média ± SD)	Esgoto bruto (Média ± SD)	Lodo (Média ± SD)
Mistura %	82,6 ± 8,2	91,5 ± 2,1	98,6 ± 4,1
pH	5,1 ± 0,2	5,7 ± 0,6	8,1 ± 0,1
SFT (mg/g)	9,4 ± 4,6	2,0 ± 0,2	18,7 ± 2,1
SVT (mg/g)	115,4 ± 25,1	1,4 ± 0,2	34,4 ± 2,4
TKN (mg/L)	5,6 ± 1,1	29,6 ± 5,4	24,4 ± 4,2

Tabela 1: Caracterização dos resíduos usados nas misturas.

Fonte: Autoria própria (2023).

3.5.2 Eficiência da co-digestão nos diferentes tipos de processos

Nesta etapa do trabalho, o objetivo foi testar o biodigestor e a eficiência da co-digestão para produção do biogás. Desta forma, foram realizados dois experimentos. O experimento 1 foi realizado em sistema de batelada e o experimento 2 em sistema semi-contínuo, ambos durante 60 dias. Nos dois experimentos foram utilizados mistura de resíduo alimentar, esgoto bruto sem tratamento e lodo anaeróbio (inóculo) nas mesmas proporções. Sendo que no experimento 2, a cada 10 dias era alimentado até o final dos 60 dias de experimento e o experimento 1 somente foi alimentado no início do experimento. A eficiência do bioprocesso da co-digestão anaeróbia dos experimentos apresentou para o Experimento 1, baixa remoção de sólidos voláteis (SV), comparado com o Experimento 2, mas com constante remoção desde o início do experimento. Para o Experimento 1, foram obtidos a remoção dos sólidos totais e voláteis de 52,5% Sólidos Totais (ST) e 60,4% SV e para o Experimento 2, apresentou alta remoção de matéria orgânica, expressada com a remoção de 68,5%ST e 80,7%SV. Srisowmeya et al. (2019), para processos realizados com resíduo sólido urbano e em temperaturas mesofílicas, foram encontrados remoções de sólidos voláteis nas faixas de 71,6% com tempo de retenção de 24 dias, em casos onde há recirculação a remoção pode ser otimizada, chegando a 80% em 12 dias. A taxa média de produção e o volume total de biogás produzido no experimento 1, foram respectivamente, 0.4 L/dia e 18.5 L e para o experimento 2, respectivamente, 1,5 L/dia e 68,5 L. O perfil de eficiência da produção de metano associada à variação de pH na produção de biogás e apresentado na Figura 8. O comportamento do H_2S foi semelhante para os dois biodigestores.

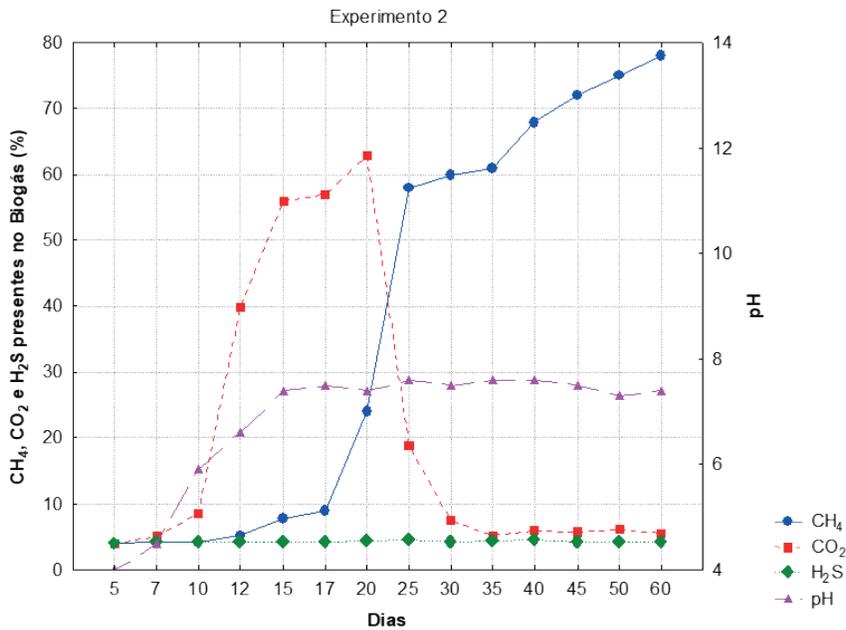
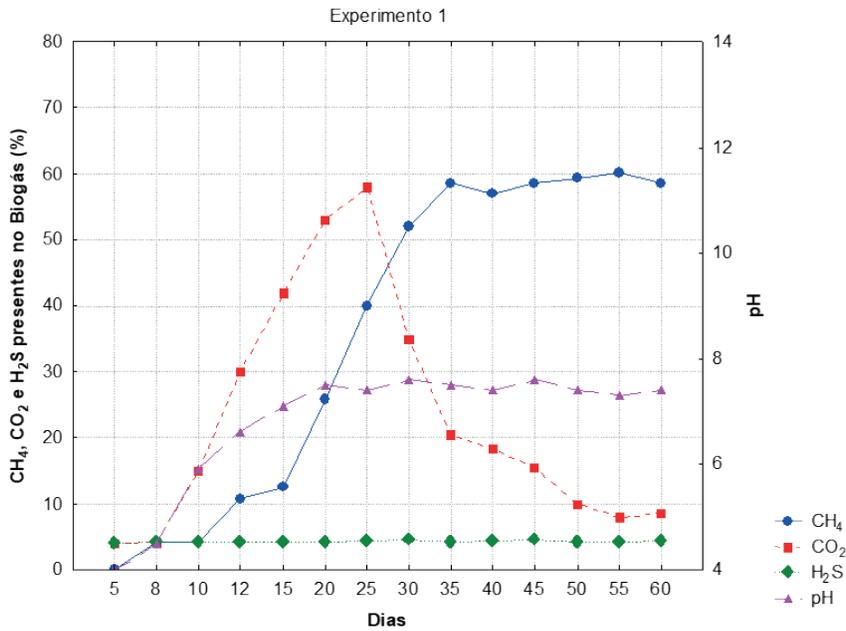



Figure 8 – O perfil da produção de biogás obtidos durante os 60 dias de experimentos. Experimento 1: O bioprocesso operando em batelada e Experimento 2: O bioprocesso operando em sistema semi-contínuo.

Fonte: Autoria própria (2023).

4 | DISCUSSÃO

Durante os experimentos realizados com o biodigestor desenvolvido, alguns ajustes foram necessários, entre eles, o teste de comunicação do CLP que demonstrou o envio e o recebimento de informações funcionando e dentro do tempo programado de um segundo. Por outro lado, os experimentos de testes das entradas do CLP demostraram que o módulo de entrada estava funcionando, porém, as leituras estavam oscilando, principalmente do sensor de pH. Em geral, essas variações ocorrem devido a ruídos eletrônicos do sistema e por isso foram instalados, previamente, filtros eletrônicos em cada uma das entradas. A solução encontrada para esse problema foi a implementação de um filtro digital de média móvel, para um conjunto de cinco amostras, ao software embarcado. Esse tipo de filtro é obtido calculando-se a média de um conjunto de valores, sempre adicionando um novo valor ao conjunto e se descartando o mais antigo, a cada leitura. Após a aplicação desse filtro os sensores apresentaram, em 25 leituras, uma variação de ± 0,9%; o de temperatura e o de pH ± 1,05 %. Com isso, pode-se afirmar que o módulo de entrada analógica do CLP e os sensores funcionaram bem e apresentaram um sinal de leitura estável. O software desenvolvido realizou a supervisão e controle de processos em tempo real, inclusive a aquisição de dados. Na janela desenvolvida o usuário pode determinar todos os parâmetros de controle e monitoramento e automação do biodigestor antes e durante o experimento e proporcionar ao operador a interação e a visualização do equipamento. Em relação aos biodigestores, foi observado que, durante os 60 dias de experimento, os materiais utilizados na construção dos biorreatores apresentaram bons resultados e mostraram-se adequados para o processo de digestão anaeróbia. O sistema de vedação foi eficiente e manteve o meio hermeticamente fechado; comprovado pela ausência de odores no local e com baixa concentração de H_2S, eficiência do processo de remoção de matéria orgânica e produção de biogás. Durante todo o experimento teste, o sistema de aquecimento e controle da temperatura mostraram-se eficientes, tendo em vista que não apresentaram falhas, o volume de fluido térmico mostrou-se adequado para o aquecimento do meio em fermentação e a resistência foi capaz de atingir e manter a temperatura no valor estabelecido pelo sistema de controle. A temperatura se manteve na maior parte dos experimentos em 37±0,3ºC. Além disso, os sistemas de automação da agitação funcionaram conforme o esperado e não apresentaram falhas no experimento teste. O motor e a haste de agitação foram capazes de manter a mistura e homogeneização do meio.

5 | CONCLUSÕES

Foi possível avaliar a influência da co-digestão do resíduo alimentar e esgoto bruto sem tratamento na produção do biogás para processos diferentes de digestão anaeróbia. Sendo o processo semi-contínuo mais eficiente na remoção de matéria orgânica e produção de biogás. A maior eficiência do processo semi-contínuo, em comparação ao

processo em batelada, pode ser atribuída à adição das misturas resíduo, esgoto bruto e lodo durante todo experimento, pois pode ter aumentado a quantidade de matéria orgânica e microorganismos no meio facilitando a biodegradação, e consequentemente maior produção do biogás. A menor eficiência do experimento, em sistema de batelada, pode estar associado, a composição de substâncias presentes no esgoto bruto de baixa biodegradabilidade. Os principais resultados obtidos nesse trabalho permitiram avaliar que o biodigestor desenvolvido, além da flexibilidade de operação é de fácil manutenção e limpeza. O sistema de agitação desenvolvido para o biodigestor proporcionou a mistura do meio conforme a sua concepção e o sistema de aquecimento foi eficaz no processo de biodigestão mesofílica. O sistema de controle, monitoramento e automação desenvolvido para o processo de biodigestão anaeróbia mostrou-se eficaz e apresentou as principais funcionalidades e arquitetura dos CLP comerciais. Além do software supervisório ter sido eficiente em todos os quesitos definidos na sua concepção: exibição dos dados de monitoramento e parâmetros de processo, armazenamento dos dados monitorados, de configuração do sistema e de experimentos; apresentação dos dados históricos de monitoramento em diferentes formatos; sistema de alarme visual e por e-mail dos parâmetros críticos ao processo e monitoramento e controle do equipamento remotamente.

Em relação ao biodigestor desenvolvido, o mesmo pode ser utilizado para bioprocessos semi-contínuo e em batelada, permitindo a flexibilidade de operação para diversos tipos de substratos. Por fim, com estes e outros resultados encontrados foi concluído que o biodigestor desenvolvido com o sistema de automação e controle foi satisfatório para a redução da matéria orgânica e produção de biogás. Além de todos os parâmetros operacionais funcionando corretamente e com a utilização de tecnologias atuais e de baixo custo, tornando viável a aplicação e desenvolvimento em maior escala no futuro.

REFERÊNCIAS

VENKATESH, G.; ELMIR, R. A. Economic-environmental analysis of handling biogas from sewage sludge digesters in WWTPs (wastewater treatment plants) for energy recovery: Case study of Bekkelaget WWTP in Oslo (Norway), **Energy,** 58, 220-235, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.05.025. Acesso em: jul. 2022.

BEDOIC´ *et al.* Geospatial Analysis and Environmental Impact Assessment of a Holistic and Interdisciplinary Approach to the Biogas Sector. **Energies,** 14, 5374, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/en14175374. Acesso em: set. 2022.

ERIKSSON *et al.* Municipal solid waste management from a systems perpective. **J. Clean. Prod.,** 13, 241-252, 2005. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.02.018. Acesso em: out. 2022.

BOLZONELLA *et al.* Dry anaerobic digestion of differently sorted organic municipal solid waste: a full-scale experience. **Water Sci. Technol.,** 53(8), 23–32, 2006.Disponível em: https://doi.org/10.2166/wst.2006.232. Acesso em: out. 2022.

LI *et al.* Effects of Organic Composition on Mesophilic Anaerobic Digestion of Food Waste. **Bioresour. Technol**.*,* 244, 213–224, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.006. Acesso em: set. 2022.

AUDU *et al.* Exploring Biogas and Biofertilizer Production from Abattoir Wastes in Nigeria Using a Multi-Criteria Assessment Approach. **Recycling,** 2020, 5(3), 1-24. < https://doi.org/10.3390/recycling5030018>. Acesso em: dez. 2022.

HAGOS *et al*. Anaerobic co-digestion process for biogas production: Progress, challenges and perspectives. **Renew. Sust. Energ. Rev.,** 76, 1485-1496, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.184. Acesso em: dez. 2022.

LI, Y.; PARK, S. Y.; ZHU, J. Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste. **Renew Sustain Energy Rev**.*, 15, 821-826,* 2011. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.042. Acesso em: dez. 2022.

CHERNICHARO, C.A.L. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Reatores Anaeróbios*; Universidade Federal de Minas Gerais: Belo Horizonte, Brazil, 1997.

BUDZIANOWSKI, W. M.; BUDZIANOWSKA, D. A. Economic analysis of biomethane and bioelectricity generation from biogas using different support schemes and plant configurations. **Energy**, 88, 658-666, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.05.104. Acesso em: dez. 2022.

ORGANIZAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU) - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. Disponível em: https://nacoesunidas.org/conheca-os-novos-17-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-da-onu/amp/. Acesso em: fev. 2022.

PATTERSON *et al.* Esteves, S.; Dinsdale, R.; Guwy, A. Life cycle assessment of biogas infrastructure options on a regional scale. **Bioresour Technol**., 102, 7313-7323 2011. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.04.063. Acesso em: dez. 2022.

GUIMARÃES, C.S.; MAIA, D.R.S.; Serra, E.G. Control and Monitoring Software Website. GitHub. 2018. Disponível em:https://github.com/DavidRSMaia/Software-de-ControlDispone-e-Monitoramento. Acesso em: fev. 2018.

CHAMBERS, P. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.* United Kingdom: Tech Press, 2019.

BRAZILIAN ASSOCIATION OF TECHNICAL STANDARDS. *NBR 10007. Sampling of Solid Waste, 2nd ed*. Brazilian Association of Technical Standards: Rio de Janeiro, Brazil, 2004. Disponível em: https://www.normas.com.br/autorizar/visualizacao-nbr/6014/identificar/visitante. Acesso em: fev. 2021.

SRISOWMEYA, G., CHAKRAVARTHY, M., NANDHINI D. G. Critical considerations in two-stage anaerobic digestion of food waste – A review. **Renew. Sust. Energ. Rev**.*,* 119, 587-594, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109587. Acesso em: dez. 2022.

CAPÍTULO 8

APLICAÇÃO DE AMOSTRADORES PASSIVOS PARA A QUANTIFICAÇÃO DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS NO RIO GRANDE DO SUL

Data de submissão: 14/04/2023 *Data de aceite: 02/05/2023*

Cícero Coelho Escobar
Universidade Federal de Pelotas, Centro de Engenharias
Pelotas - RS
http://lattes.cnpq.br/2824357187395679

Erik Klen
Universidade Federal de Pelotas, Centro de Engenharias
Pelotas - RS
http://lattes.cnpq.br/8995915350975227

Caroline Menezes Pinheiro
Universidade Federal de Pelotas, Centro de Engenharias
Pelotas - RS
http://lattes.cnpq.br/5984557031030431

Julia Mendes
Universidade Federal de Pelotas, Centro de Engenharias
Pelotas - RS
lattes.cnpq.br/1280242396515862

Mery Luiza Garcia Vieira
Universidade Federal de Pelotas, Centro de Engenharias
Pelotas - RS
http://lattes.cnpq.br/4150741435340492

Maurizio Silveira Quadro
Universidade Federal de Pelotas, Centro de Engenharias
Pelotas - RS
http://lattes.cnpq.br/1749935262841216

RESUMO: As emissões das variadas fontes poluidoras afetam diretamente a qualidade do meio ambiente e principalmente a saúde humana. Com isso, torna-se uma necessidade encontrar técnicas para o monitoramento do ar. A técnica de amostragem passiva tem sido uma alternativa viável pelo seu baixo custo e simples operação, funcionando como um filtro de absorção de poluentes atmosféricos. Neste trabalho, buscou-se desenvolver uma pesquisa bibliográfica sobre os estudos referentes ao uso de amostradores passivos no estado do Rio Grande do Sul. No período de 10 anos (2012 a 2022) foram encontrados 5 estudos a partir de plataformas digitais de pesquisa. No intuito de comparar os resultados dos trabalhos da literatura, nesta revisão serão considerados os principais poluentes (como NO_2, O_3 e SO_2) analisados nas cidades, e os parâmetros como período de amostragem,

o ciclo de exposição, soluções absorvedoras, entre outros parâmetros relevantes. Os resultados compilados nesse trabalho devem auxiliar pesquisas futuras visando o uso amostradores passivos para quantificação de gases poluentes atmosféricos.
PALAVRAS-CHAVE: Qualidade do ar, Poluição do ar, Emissões gasosas.

APPICATION OF PASSIVE SAMPLERS FOR THE QUANTIFICATION OF ATMOSPHERIC POLLUTANTS IN RIO GRANDE DO SUL

ABSTRACT: Emissions from various polluting sources directly affect the quality of the environment, especially human health. Thus, it becomes a necessity to find techniques for air monitoring. Passive sampling technique has been a viable alternative due to its low cost and simple operation, working as an absorption filter for atmospheric pollutants. In this work, we sought to develop a bibliographical research on studies referring to the use of passive samplers in the state of Rio Grande do Sul. In a period of 10 years (2012 to 2020), 5 studies were found using research platforms. In order to compare the results of works in the literature, this review will consider the main pollutants (such as NO_2, O_3 and SO_2) analyzed in cities, and parameters such as sampling period, exposure cycle, absorbent solutions, among other relevant parameters. The results compiled in this work should help future researches aiming at the use of passive samplers to quantify atmospheric pollutant gases.
KEYWORDS: Air quality, Air pollution, Gaseous emissions.

1 I INTRODUÇÃO

O aumento da população em conjunto com a intensificação de atividades industriais e circulação de automóveis em centros urbanos tem causado preocupações acerca da presença de poluentes atmosféricos. Segundo dados da Organização Mundial da Saúde, cerca de 6 milhões de mortes prematuras por ano são causadas pela exposição à poluição do ar em ambientes externos e internos (WHO, 2017).

Alguns dos poluentes atmosféricos se manifestam mais intensamente e, por isso, são consagrados mundialmente como necessários de monitorar, tais como: Dióxido de enxofre (SO_2), ozônio (O_3) e dióxido de nitrogênio (NO_2). O SO_2 e o NO_2 são gases de origem primária, ou seja, são emitidos diretamente pela fonte de emissão. Além disso, a presença de NO_2 também ocorre na atmosfera devido a oxidação do óxido nítrico (NO) na atmosfera. Alguns exemplos de fontes desses gases são as atividades industriais, os escapamentos de motores, as queimadas da agricultura, os aterros sanitários, como também, por fontes naturais como em vulcões e relâmpagos (BUCCO, 2010). No caso do $SO_{2,}$ a principal fonte de emissão se dá através da queima de combustíveis fósseis, para o aquecimento e produção de energia. O O_3 é considerado um poluente secundário, pois não é emitido diretamente na atmosfera. É formado a partir das reações dos poluentes primários através de uma série complexa de reações envolvendo compostos orgânicos voláteis e óxidos de nitrogênio, em presença de luz solar (CAMPOS et al., 2006). Este gás na estratosfera protege a terra contra a entrada dos raios ultravioletas, porém, quando se

forma na troposfera, é nocivo aos seres vivos e materiais (VIEIRA, 2012), podendo causar irritações nos olhos e vias respiratórias, edema pulmonar e sensação de falta de ar. Na vegetação, pode interferir no metabolismo dos vegetais, afetando a atividade enzimática (HEINEN; SILVA, 2019).

O presente trabalho tem como objetivo revisar e discutir os principais trabalhos publicados envolvendo a aplicação de amostradores passivos dos poluentes NO_2, SO_2 e O_3, entre os anos de 2012 a 2022, no Estado do Rio Grande do Sul. Embora não exaustiva, a presente revisão pretende fornecer ao leitor um panorama completo com relação à metodologia empregada nesses estudos. Além disso, também se pretende auxiliar no direcionamento de futuras pesquisas acerca desse assunto, uma vez que é uma área ainda pouco explorada na região sul do Brasil.

Para a realização da presente revisão, os locais de busca foram: Google acadêmico, biblioteca digital brasileira de teses e dissertações (BDTD), Portal de Periódicos CAPES/MEC, ScienceDirect e SciELO. As buscas nesses sites foram voltadas para pesquisas realizadas no estado do Rio Grande do Sul - Brasil, conforme o objetivo da pesquisa. Foi buscado por trabalhos publicados envolvendo a aplicação de amostradores passivos dos poluentes NO_2, SO_2 e O_3, entre os anos de 2012 a 2022, no Estado do Rio Grande do Sul (RS). O levantamento de dados ocorreu entre os dias 04/07/2020 a 10/07/2022. As palavras chaves utilizadas para as buscas foram (em português): Poluição do ar, amostrador passivo, amostragem passiva, monitoramento de poluição do ar. As palavras procuradas em inglês foram: *air pollution*, *air pollution monitoring* e *passive sampler*.

2 I REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O monitoramento de compostos gasosos do ar envolve a aplicação de dois tipos de abordagens: a ativa e a passiva. As técnicas ativas exigem alguns requisitos, como o uso de equipamentos que se baseiam em algum mecanismo de propulsão para coleta de amostras do ar (MELCHERT; CARDOSO, 2006). Nesses casos, muitos amostradores são caros e exigem pessoal capacitado para a operação. Considerando que os amostradores ativos normalmente utilizam bomba e controladores de fluxos, torna-se necessário o uso assim de energia elétrica para seu funcionamento, o que também torna a análise mais cara (MELCHERT; CARDOSO, 2006; BUCCO, 2010). Os amostradores passivos, ou difusos, são dispositivos capazes de fixar os compostos presentes na atmosfera por processos físicos conhecidos como difusão e permeação molecular (MELCHERT; CARDOSO, 2006; CAMPOS et al., 2006). São baseados na difusão passiva a partir do ar contendo gases poluentes para um meio absorvedor. A difusão é o transporte constante das moléculas no fluido, promovendo o equilíbrio dos meios que se encontravam em concentrações diferentes inicialmente (MELCHERT; CARDOSO, 2006). Já a permeação é a absorção do gás através do seu contato com os poros da superfície do material (MELCHERT; CARDOSO, 2006).

Segundo Cruz (2002), o amostrador passivo consiste de um material cilíndrico que conta com uma abertura para entrada de ar, e com uma substância fixadora capaz de reagir ou interagir com o gás de interesse (SOUZA et al., 2017). É no interior do material que ocorre a difusão do gás para a superfície de coleta, logo, é importante criar condições em que o ar permaneça em um estado estacionário nessa região (SOUZA et., 2017).

Considerando as vantagens dos amostradores passivos, é importante destacar que são equipamentos baratos, de simples montagem, de operação fácil e de fácil transporte (Tabela 1). Além disso, apresentam ausência de ruído e é desnecessário calibração em campo. Também são econômicos, pois não envolvem gasto de energia elétrica, baterias ou pilhas (CRUZ; CAMPOS, 2002; MELCHERT; CARDOSO, 2006; CAMPOS et al., 2006). Outra característica vantajosa é permitir o monitoramento do ar em regiões mais afastadas do ambiente urbano. Por outro lado, apresentam algumas desvantagens. Por exemplo, as concentrações não são monitoradas de forma instantânea, não sendo possível identificar em qual período da amostragem ocorreram taxas altas ou baixas de concentração de poluentes (CRUZ; CAMPOS, 2002). Além disso, exigem análise posterior através de técnicas analíticas (Espectroscopia UV/visível, espectrometria de massa ou cromatografia gasosa ou líquida). Apesar dessas desvantagens, o uso de amostradores passivos é útil para investigação preliminar de regiões de potencial interesse de maior poluição atmosférica, servindo como um guia para futuras implementações de monitoramentos com equipamentos contínuos (PIENNAR et al., 2015).

Tipo de mostrador	**Vantagens**	**Desvantagens**
Ativo	1- Dados amostrais instantâneos, principalmente para amostragens curtas (até uma hora) 2- Dados confiáveis 3- Permite a sistematização de banco de dados histórico. 4- Pode ser utilizado mais de um método para coleta da amostra para análise. 5- Permite obter valores de picos de concentração dos poluentes. 6 - Adequado para análise de exposição crônica e aguda.	1- Instalação e manutenção de alto custo. 2- Necessidade constante de energia elétrica. 3- Necessidade de calibração contínua. 4- Difícil acesso e manutenção em áreas remotas. 5- Pode apresentar ruído. 6- Necessita mão de obra especializada para operação. 7- Perda de informação durante o período de tempo no qual o amostrador não está operacional. 7 - Necessita cuidados extras de proteção e segurança

Passivo	1- Custo baixo para a produção. 2-Fácil montagem e operação. 3- Pequenos e leves. 4- Dispensa calibração contínua em análises de campo. 5- Fácil transporte. 6- Ausência de ruído. 7 - Permite o monitoramento em regiões mais afastadas dos centros urbanos. 8 - Adequado para amostragem de longas durações. 8 - Adequado para análise de exposição crônica.	1- Instalação e manutenção de alto custo. 2- Necessidade constante de energia elétrica. 3- Necessidade de calibração contínua. 4- Difícil acesso e manutenção em áreas remotas. 5- Pode apresentar ruído. 6- Necessita mão de obra especializada para operação. 7- Perda de informação durante o período de tempo no qual o amostrador não está operacional. 7 - Necessita cuidados extras de proteção e segurança

Tabela 1. Vantagens e desvantagens dos amostradores passivos

Amostradores passivos são baseados na difusão laminar de um poluente e sua subsequente captura por absorção ou reação química com auxílio de uma solução absorvedora. Várias configurações geométricas de amostradores passivos podem ser fabricadas, sendo algumas delas disponíveis comercialmente, tais como as do tipo Ferm, do tipo Radiello e tubos de Gradko (PIENNAR et al., 2015). Independentemente do tamanho e do formato, todos os amostradores passivos exibem componentes físicos básicos comuns, sendo: i) Filtro impregnado com uma solução absorvedora (ou peneira molecular que adsorve um gás); ii) caminho difusivo que apresenta características como diâmetro e altura (PIENNAR et al., 2015).

A maioria dos amostradores passivos investigados nos trabalhos avaliados fazem uso dos chamados amostradores do tipo Ferm, ou alguma variação deste, conforme Figura 1. Este tipo de amostrador é composto por duas tampas de encaixe sob pressão em ambas as extremidades, sendo uma delas a entrada de ar. No topo do amostrador encontra-se o filtro impregnado com a solução absorvedora escolhida, visando a captação do gás poluente desejado. O corpo do amostrador possui uma altura *h*, sendo o percurso de difusão. Também é possível também observar a presença de uma tela de aço inox e uma membrana de teflon, localizada na entrada de ar, com o objetivo principal de minimizar a interferência de partículas e a difusão turbulenta, protegendo, portanto, a membrana de danos mecânicos.

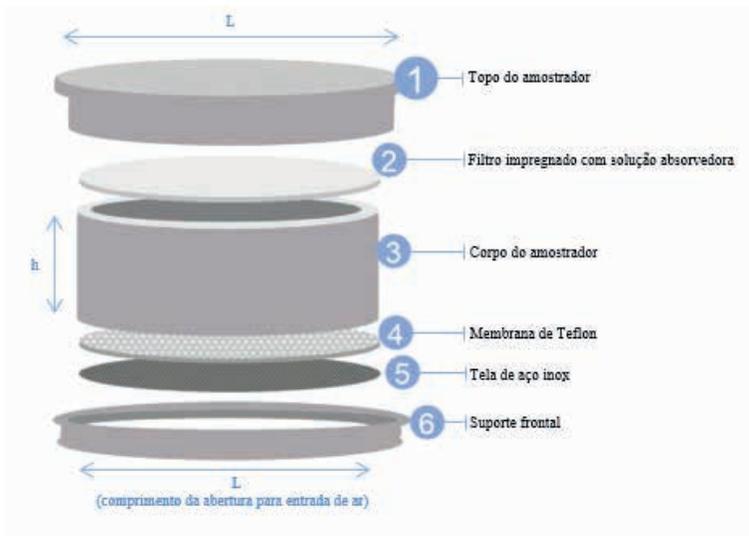



Figura 1. Esquema de amostrador passivo do tipo Ferm.

Fonte: Os autores.

Para realizar as análises, são necessárias duas categorias de soluções, uma absorvedora e outra reagente. A primeira consiste em reagir com a espécie inorgânica de interesse. Tipicamente, soluções básicas são usadas para absorver óxidos ácidos (como SO_2 e NO_2) e soluções absorvedoras ácidas são usadas para absorver gases alcalinos (como NH_3). Após o período de exposição, o amostrador é levado para o laboratório para cálculos quantitativos do poluente absorvido. Nessa etapa, é necessário fazer uso da solução reagente para interagir com o composto da etapa anterior e/ou uso de técnicas analíticas.

Os amostradores passivos de ar têm seu funcionamento baseado no princípio da primeira Lei de Fick de difusão (PIENNAR et al., 2015). Esta lei fundamenta-se na teoria de transferência de massa, afirmando que o diferencial de distância entre dois pontos de análise favorecerá a existência de um gradiente de concentração. Sendo assim, ocorrerá o transporte dos gases poluentes de regiões de alta concentração para regiões de baixa concentração, de modo que o fluxo seja proporcional ao gradiente de concentração ao longo de um comprimento de percurso de difusão *h* (Figura 1). O fluxo de difusão do gás na direção do gradiente de concentração é dado pela Eq. 1.

$$J = -D\frac{dC}{dh} \quad (1)$$

Onde:

J - Fluxo de difusão do gás na direção do gradiente de concentração ($\mu g\ m^{-2}\ s^{-1}$);

D - Coeficiente de difusão do gás ($m^2\ s^{-1}$);

C - Concentração do poluente ($\mu g\ m^{-3}$);

h - Comprimento do percurso de difusão (m);

$\frac{dC}{dh}$ – Gradiente de concentração instantânea de poluente na direção do fluxo de ar.

O gradiente de concentração instantânea de poluente na direção do fluxo de ar pode ser calculado pela Eq. 2.

$$\frac{dM}{dt} = J \cdot A \qquad (2)$$

Onde:

M - quantidade de poluente presa no disco de papel corrigida para o branco (*μ*g);

T - tempo de amostragem (s);

A - área transversal do caminho de difusão (m²).

Combinando as equações (1) e (2), obtém-se a Equação 3.

$$\frac{dM}{dt} = -A \cdot D \frac{dC}{dh} \qquad (3)$$

Integrando e reorganizando a Eq. 3 é possível obter uma Eq. 4, que fornece a concentração externa (C, em *μ*g m^{-3}) do poluente.

$$C = \frac{M}{D \cdot t} \cdot \frac{h}{A} \qquad (4)$$

No total foram encontrados apenas 05 trabalhos publicados de relevância para o objetivo deste trabalho. Uma das justificativas para isso é que ainda há poucos trabalhos desenvolvidos a respeito do monitoramento de poluentes gasosos por amostradores passivos de ar no estado do Rio Grande do Sul Para todos os estudos, foram analisados os seguintes aspectos: Cidade, poluentes monitorados, período de amostragem, ciclos de exposição, número de locais amostrados, material de construção dos amostradores, soluções absorvedoras, soluções reagentes, filtros, fatores meteorológicos e principais resultados comentados pelos autores. A Figura 2 mostra a localização geográfica dos amostradores passivos nas 04 cidades (Lajeado, Passo Fundo, Santa Maria e Erechim) em que foram encontrados dados bibliográficos de estudos publicados.

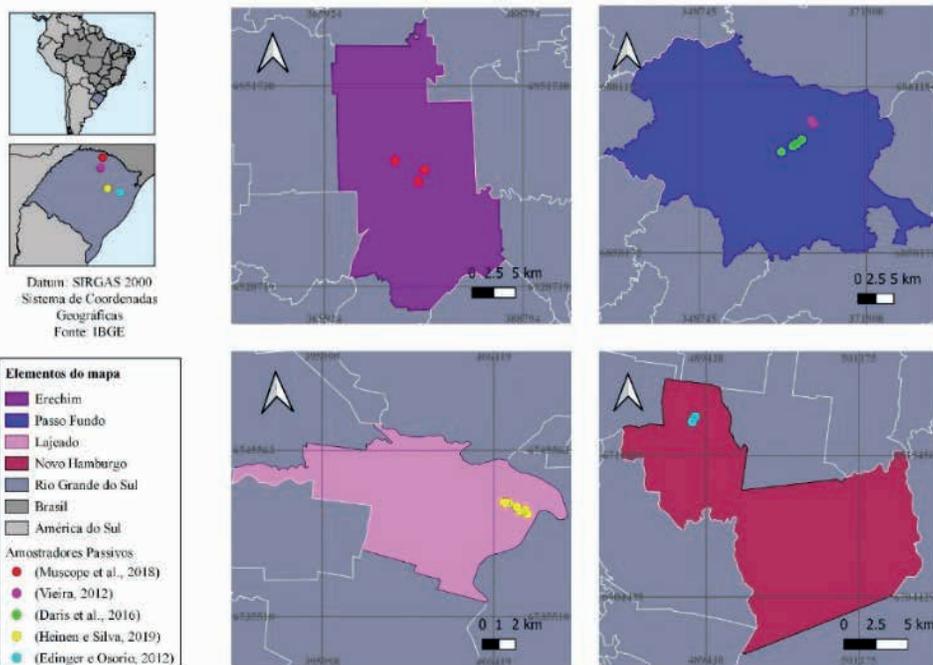



Figura 2. Localização geográfica dos amostradores passivos nas 04 cidades em que foram encontrados dados bibliográficos de estudos publicados.

Fonte: Os autores

Conforme observado na Tabela 2, a maioria das pesquisas desenvolvidas no campo dos amostradores passivos de ar no Estado do Rio Grande do Sul foram na cidade de Passo Fundo (VIEIRA, 2012; DARIS et al., 2016), totalizando dois trabalhos. As demais cidades foram Lajeado (HEINE; Silva, 2019), Novo Hamburgo (EDINGER; OSORIO, 2012) e Erechim (MUSCOPE et al., 2018).

Referência	Heinen e Silva, 2019	Vieira, 2012	Edinger e Osório, 2012	Daris et al., 2016	Muscope et al., 2018
Cidade	Lajeado	Passo Fundo	Novo Hamburgo	Passo Fundo	Erechin
Poluentes Monitorados	NO_2	NO_2, SO_2 e O_3	SO_3	NO_2 e O_3	NO_2 e O_3
Período de Amostragem	12 meses	4 meses	12 meses	12 meses	10 meses
Ciclo de Exposição	7 a 8 dias	5 dias	30 a 45 dias	5 dias	5 dias
N° locais amostrados	8	5	3	6	3

Material de Construção	Policloreto de vinila (PVC)	Policloreto de vinila (PVC)	Polietileno de alta densidade (PEAD)	Policloreto de vinila (PVC)	Policloreto de vinila (PVC)
Soluções Absorvedoras	**Absorvedora NO_2:** 0,9 g de iodeto de sódio + 0,1 g de carbonato de sódio + 20 mL de água destilada. **Absorvedora O_3:** 1 g de amido + 0,2 g de carbonato de potássio + 2 g de iodeto de potássio + 20 mL de água destilada	**Absorvedora NO_2:** KI 5,0 x 10-1 mol L-1 + KOH 2,0 x 10-1 mol L-1 em metanol. **Absorvedora SO_2:** Na_2CO_3 1,0 x 10-2 mol L-1 em água. **Absorvedora O_3:** 5,0 g de amido em 20 mL de água destilada em 50 mL de água destilada em fervura, fervendo por cinco minutos. Descanso da solução por 24h e dissolução de 1,0 g de carbonato de potássio e após 10,0 g de iodeto de potássio, diluindo-se para 100 mL.	**Absorvedora:** 1 mL de carbonato de potássio 30%, deixado em estufa por 24 horas a 60 ºC.	**Absorvedora NO_2:** 8,3 g de KI + 1,12 g de KOH, dissolvidos em 100 mL de metanol. **Absovedora O_3:** 5,0 g de amido amassado em 20 mL de água destilada e despejado em 50 mL de água destilada em fervura, fervendo por cinco minutos.	**Absorvedora NO_2:** 8,3 g de KI + 1,12 f de KOH, dissolvidos em 100 mL de metanol. **Absovedora O_3:** 5,0 g de amido em 20 mL de água destilada e despejado em 50 mL de água destilada em fervura, fervendo por cinco minutos. Após espera de 24h, foi dissolvido 1,0 g de carbonato de potássio e após 10,0 g de iodeto de potássio, diluindo-se para 100 mL.
Soluções reagentes	**Reagente NO_2:** 1 g sulfanilamida + 1,84 mL de ácido fosfórico + 0,01 g NEDA + 200 mL de água destilada. **Reagente O_3:** 2,25 g de iodeto de potássio + 225 mL de água destilada	**Reagente NO_2:** 5,0 g de sulfanilamida dissolvida em aproximadamente 800 ml de água destilada contendo 9,2 mL de ácido fosfórico (85%). Após dissolução, adiciona-se 0,05 g de NEDA (N-(1-naftil-etilenodiamina) e dilui-se para 1L. **Reagentes SO_2:** Solução de ácido clorídrico 6 mol.L-1 contendo 20 mg L-1 de S: prepara-se dissolvendo 497,5 mL de HCl p.a em aproximadamente 300 mL de água e, na sequência, dissolve-se 108,9 mg de K_2SO_4. **Reagente O_3:** 10,0 g de iodeto de potássio dissolvido em 500 ml de água destilada	**Reagente:** Concentrações conhecidas de sulfato de 0,0; 0,1; 0,3; 0,6; 0,9 $mgSO_4.L^{-1}$	**Reagente NO_2:** 5,0 g de sulfanilamida dissolvida em aproximadamente 800 ml de água destilada contendo 9,2 mL de ácido fosfórico (85%). Após dissolução, adicionou-se 0,05 g de NEDA (N-(1-naftil-etilenodiamina) e diluiu-se para 1L. **Reagente O_3:** Dissovlido10 g de iodeto de potássio em aproximadamente 500 ml de água destilada e 1L.	**Reagente NO_2:** 5,0 g de sulfanilamida dissolvida em aproximadamente 800 ml de água destilada contendo 9,2 mL de ácido fosfórico (85%). Após dissolução, adiciona-se 0,05 g de NEDA (N-(1-naftil-etilenodiamina) e dilui-se para 1L. **Reagente O_3:** Dissolvem-se 10,0 g de iodeto de potássio em aproximadamente 500 ml de água destilada e dilui-se para 1L.

Filtro	**NO_2:** Filtro de celulose da marca Quanty – JP40, com poros de em média 25 µm. **O_3:** Filtro de fibra de vidro GF-3 da marca Macherey-Nagel, com poros de em média 0,6 µm.	**NO_2:** Filtro de celulose (Whatman 40) **SO_2:** Filtro de celulose (Whatman 40**)** **O_3:** Filtro de papel de fibra de vidro (GF 50/A)	Filtro de Fibra de vidro	**NO_2:** Filtro de Celulose (whatman 40) **O_3:** Filtro de papel de fibra de vidro (GF 50/A)	**NO_2:** Filtro de Celulose (Whatman 40) **0_3:** Filtro de papel de fibra de vidro (GF 50/A)
Principais Resultados	**Concentração de NO_2 (µg/m³):** 0,4 a 13,5 **Concentração de O_3 (µg/m³):** 2,6 a 28,9	**Concentração de NO_2 (µg/m³):** 0,11 a 3,10 **Concentração de SO_2 (µg/m³):** 20,60 a 1306,09 **Concentração de O_3 (µg/m³):** 0,66 a 4,80	**Taxa de Sulfatação (µgSO_3 dm². dia⁻¹):** 0,016 a 0,031	**Concentração de NO_2 (µg/m³):** 0,18 a 11,27 **Concentração de O_3 (µg/m³):** 0,37 A 20,80	**Concentração de NO_2 (µg/m³):** 0 a 10 **Concentração de O_3 (µg/m³):** 5 a 20

Tabela 2. Principais informações dos trabalhos encontrados na revisão bibliográfica envolvendo uso de amostradores passivos no estado do Rio Grande do Sul

No que diz respeito ao monitoramento de poluentes atmosféricos, os gases O_3 e NO_2 (VIEIRA, 2012; HEINEN; SILVA, 2019; MUSCOPE et al., 2018) se destacam na metodologia da maioria dos artigos. A avaliação dos gases SO_2 (VIEIRA, 2012) e SO_3 (EDINGER; OSÓRIO, 2012) foram constatados apenas uma vez e em trabalhos diferentes. O NO e, especificamente o NO_2, são os principais poluentes gerados por fontes automotivas e industriais, sendo também um agente oxidante que ao reagir com a luz solar e oxigênio atmosférico forma O_3 (BRAGA et al., 2001).

O SO_2 e SO_3 também são poluentes de fontes de carvão e petróleo, entretanto dependendo da presença de luz, temperatura e umidade esses óxidos tendem a permanecer por pouco tempo na atmosfera antes de se transformarem ou, em outros casos, são dispersados a longas distâncias se concentrando em uma área bem maior (BRAGA et al., 2001). Logo, essa justificativa pode estar associada ao fato de não ocorrer tantos estudos sobre o monitoramento destes gases ou também devemos destacar a possibilidade de técnicas de adsorção desses poluentes ainda não estudadas.

Em geral, dentre os trabalhos publicados a maioria optou por um período de amostragem de aproximadamente 12 meses (EDINGER; OSÓRIO, 2012; DARIS et al., 2016; HENIEN; SILVA, 2019) enquanto apenas dois trabalhos desenvolveram suas metodologias em um período de amostragem menor. MUSCOPE et al. (2018) estabeleceu um período de 10 meses e VIEIRA (2012) utilizou um período muito menor de 3 a 4 meses de amostragem. Vale ressaltar que um período mais extenso, como por exemplo 12 meses de amostragem, permite uma melhor visualização da concentração de poluentes ao longo do ano, sendo possível analisar os meses de menor ou maior emissão atmosférica pelas fontes poluidoras,

levando em consideração diversos aspectos como área espacial antropizada, presença de automóveis, gerador de energia elétrica, aspectos meteorológicos, entre outros.

O ciclo de exposição dos amostradores passivos nos locais selecionados variaram entre até 5 dias (VIEIRA, 2012; DARIS et al., 2016; MUSCOPE et al., 2018), de 5 a 8 dias (HEINEN; SILVA, 2019) e de 30 a 45 dias (EDINGER; OSÓRIO, 2012). Conforme Porfirio (2008) o tempo de exposição é um limitante dessa técnica de monitoramento de ar, pois as informações referentes às concentrações de poluentes estão fortemente associadas ao tempo de coleta e as influências ocorridas naquele determinado período exposto às condições do ambiente.

A escolha de pontos estratégicos para colocação dos equipamentos é de suma importância, pois deve-se considerar locais em que há principalmente fontes de emissões atmosféricas como as já citadas anteriormente. Dessa forma, conforme os locais amostrados, percebe-se que as metodologias para escolha dos pontos foram bem distintas. Edinger e Osório (2012) e Muscope et al. (2018) apresentaram uma diversidade de locais amostrados, como: O telhado de um prédio próximo ao laboratório de Tecnologia Vegetal da Feevale, a estação de tratamento de efluentes da Feevale, um estacionamento (EDINGER; OSÓRIO, 2012), Avenida Maurício de Cardoso, Distrito Industrial e BR-153 da cidade de Erechim (MUSCOPE et al., 2018). Heinen e Silva (2019) amostraram oito locais com intensa circulação de pessoas e veículos dentro das localidades da Universidade do Vale do Taquari (Univates).

Daris et al. (2016) amostraram seis locais sujeitos a intenso tráfego de veículos no intuito de uma possível avaliação dos impactos e níveis de concentração aos quais as pessoas estavam expostas e Vieira (2012) cinco locais distintos (próximo a saída de gases do gerador de energia elétrica, na entrada do estacionamento universidade, nas proximidades das piscinas térmicas, na saída de uma capela de exaustão de um laboratório um local considerado de baixa poluição)

Em relação aos materiais construção utilizados, na maioria dos amostradores passivos de ar construídos foram utilizados cilindros de Polietileno (PVC) (VIEIRA, 2012; DARIS et al., 2016; MUSCOPE et al., 2018; HEINEN; SILVA, 2019) enquanto apenas Edinger e Osório (2012) utilizaram o Polietileno de Alta Densidade (PEAD). A distinção entre os materiais pode estar associada as despesas e facilidade de construção, pois o PVC é um material de baixo custo, flexível, de fácil construção e desmonte se comparado ao PEAD que utiliza solda a quente (LODI, 2003).

Com relação às amostras absorvedoras de NO_2, observou-se nos trabalhos de Muscope et al. (2018), Daris et al. (2016) e Vieira (2012) foram utilizadas soluções e concentrações similares de soluções (KI e KOH), além de serem preparadas em metanol. Por sua vez, o estudo de Heinen e Silva (2019) fez uso do Na_2CO_3 ao invés de KOH, e NaI ao invés de KI. Além disso, a solução foi preparada em água destilada ao invés de metanol.

Como solução absorvedora para o SO_2 (VIEIRA, 2012) e SO_3 (EDINGER; OSÓRIO,

2017), utilizou-se uma solução de Na_2CO_3 em água e uma solução de K_2CO_3 30%, previamente deixada em estufa por 24 horas a 60 ºC, respectivamente. O gás O_3 foi, conforme já discutido, um dos gases mais frequentemente analisados. Em todos os casos, os autores (HEINEN; SILVA, 2019; VIEIRA, 2012; DAIS et al,. 2016; MUSCOPE et al., 2018) usaram uma solução de amido (normalmente preparado em fervura) em conjunto com soluções de KI e K_2CO_3, variando, dentre os trabalhos, as concentrações escolhidas no preparo dessas soluções.

No que diz respeito ao uso das soluções reagentes empregados para análise de NO_2 e O_3, nota-se que os autores (VIEIRA, 2012; DARIS et al,. 2016; MUSCOPE et al., 2018; HEINEN; SILVA, 2019) usaram soluções similares, variando apenas as concentrações. Para análise de NO_2, tem-se usado uma solução aquosa de sulfanilamida adicionando EDTA e ácido fosfórico. Para análise de O_3, foi utilizado uma solução aquosa de KI. A solução reagente utilizada para a análise do SO_2 (Vieira, 2012) foi conduzida com uma mistura de HCl com K_2SO_4. A análise de SO_3 (EDINGER; OSÓRIO, 2012) foi realizada com ajuda de uma curva de calibração com concentrações conhecidas de padrão de sulfato.

Com relação aos filtros utilizados nos trabalhos, notou-se que nos estudos de Muscope et al. (2018), Daris et al. (2016), e Vieira (2012), foram utilizados os filtros de celulose e fibra de vidro para a análises dos gases O_3 e NO_2. Heinen e Silva (2019) utilizou para a análise do SO_2 filtro à base o de celulose e para a análise do SO_3 utilizou-se fibra de vidro. Em nenhuma das pesquisas foi explicado o motivo da diferença de filtros utilizados na análise dos gases. Porém os baseados em vidro apresentam fibras mais finas e por esse motivo podem ser arranjadas mais perto uma das outras para produzir poros menores o que ocasiona um aumento na capacidade de retenção de contaminante, assim como a eficiência da filtragem.

Importante destacar que a similaridade de algumas soluções absorvedoras, soluções reagentes e filtros utilizados para a análise de deve-se, muito provavelmente, ao fato de se basearem na metodologia empregada na pesquisa de Bucco (2010) e Griess-Saltzman (1954). Nesse sentido, observa-se que essas metodologias são as mais aceitas e utilizadas entre os pesquisadores analisados.

Nos estudos de Denise (2016), Hein e Silva (2019), Muscope et. Al (2018) e Viera (2012), os gases NO_2 e O_3 estão dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA vigente na época que os estudos foram realizados (CONAMA 003/90). Importante observar que no estudo de Vieira (2012), os resultados indicaram que a metodologia empregada para a análise da concentração de poluente no filtro talvez não tenha sido a mais adequada. Sendo assim sugere para trabalhos futuros o método de análise do SO_2 deve ser modificado, utilizando-se idealmente metodologia baseada na cromatografia gasosa.

No estudo de Vieira (2012), percebe-se uma brusca diminuição na concentração máxima encontrada. É interessante comparar esse resultado com os dados obtidos por Daris et al. (2016), realizada na mesma cidade, pois a Universidade de Passo Fundo localiza-se

em uma região afastada do centro da cidade, onde o trânsito veicular é consideravelmente inferior se comparado aos outros pontos monitorados, o que acarreta uma significativa diminuição nas emissões de NO_2 e COVs que são um dos meios responsáveis pela sua alta formação na atmosfera. No entanto, a concentração mínima nos trabalhos de Daris et al. (2016), e Vieira (2012), foram próximas.

Na análise de NO_2, é possível constatar que os trabalhos de Muscope et al. (2018), Daris et al. (2016), Vieira (2012) e Heinen e Silva (2019) apresentaram uma similaridade nas concentrações mínimas do gás. Com relação à concentração máxima do gás NO_2 encontrado, observa-se valores próximos nos trabalhos dos autores de Muscope et al. (2018), Daris et al. (2016) e Heinen e Silva (2019). Segundo a resolução CONAMA Nº 491/2018, os valores das concentrações dos gases encontrados estão dentro dos limites estabelecidos por lei. Por outro lado, constatou-se no estudo de Vieira (2012), que o método de análise para o SO_2 utilizado não foi adequado, pois nenhuma afirmação foi condizente nos meses de monitoramento.

De maneira geral, nos estudos conduzidos por Heinen e Silva (2019), Vieira (2012), Daris et al. (2016), verificou-se que a concentração dos gases foi maior no período onde houve menos precipitação e nos amostradores localizados próximos às fontes de poluição. Exemplos dessas fontes incluem: Áreas industriais, locais próximos ao fluxo e congestionamento de veículos e locais próximos a geradores de energia. No estudo de Muscope et al. (2018), verificou um aumento da concentração dos gases após um período de tempo no mesmo local, relacionado ao ano anterior.

3 I CONCLUSÕES

Os amostradores passivos demonstraram ser uma alternativa viável para o monitoramento atmosférico, pois além da fácil manipulação, seu custo acaba sendo barateado por não precisar diretamente de energia elétrica para seu funcionamento, podendo ser implantados sem dificuldades geográficas e fornecendo resultados satisfatórios e confiáveis. Diante do exposto, os amostradores passivos são uma alternativa viável para o monitoramento da qualidade do ar por parte dos estados e municípios.

Tendo em vista que muitos municípios do estado do Rio Grande do Sul não possuem muitos dados a respeito da qualidade do ar, observa-se que há uma demanda para obtenção dessas informações. Nesse sentido, o uso de amostragem passiva pode servir no auxílio de preencher essa lacuna.

REFERÊNCIAS

BRAGA, A.; PEREIRA, L. A. A.; BÖHM, G. M.; SALDIVA, P. Poluição atmosférica e saúde humana. **Revista USP**, v. 51, p. 58-71, 2001.

BUCCO, Magali. **Construção e testes de validação de amostradores passivos para dióxido de nitrogênio e ozônio**. 2010. 114f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CAMPOS, V. P.; CRUZ, L. P. S.; ALVES, E. M.; SANTOS, T. DE. S.; SILVA, A. D.; SANTOS, A. C. C. DOS.; LIMAS, A. M. V.; PAIXÃO, C. S.; SANTOS, C. M. B.; BRANDÃO, D. S.; ANDRADE, E. J. S.; JUNIOR, J. I. M.; CONCEIÇÃO, K. C. S.; RAMOS, M. DE. S.; PONTES, M. C. G.; AMARAL, M. F. DO.; MATTOS, R. R. Monitoramento atmosférico passivo de SO_2, NO_2 e O_3 em áreas urbanas e de influência industrial como prática de Química Ambiental para alunos de graduação. **Química Nova**, v.29, p.872-875, 2006.

CRUZ, L. P. S.; CAMPOS, V. P. Amostragem passiva de poluentes atmosféricos. Aplicação ao SO_2. **Química Nova**, v.25, p.406-411, 2002.

DARIS, D.; BRANDLI, L. L.; KORF, E. P.; ROSA, F. D. Contribuição do tráfego urbano na qualidade do ar em cidade brasileira de porte médio. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica**, v.9, p.16-27, 2016.

EDINGER, L. R.; OSORIO, D. M. M. Avaliação da qualidade do ar da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos através de amostradores passivos, RS. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 3, 2012, Goiânia. Anais.

HEINEN, C. J.; SILVA, M. C. DE. A. Avaliação dos níveis de dióxido de nitrogênio e ozônio na Universidade do Vale do Taquari (Univates) utilizando amostradores passivos de baixo custo. **Scientia cum Industria**, v.7, p.32-43, 2019.

LODI, P. C. **Aspectos de degradação de geomembranas poliméricas de polietileno de alta densidade (PEAD) e de poli (cloreto de vinila) (PVC)**. 2003. 354f. Tese (Doutor em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo.

MELCHERT, W. R.; CARDOSO, A. A. Construção de amostrador passivo de baixo custo para determinação de dióxido de nitrogênio. **Química Nova**, v.29, p.365-367, 2006.

MUSCOPE, F.; REIS, J. B.; LEVANDOSKI, W. K.; PRESTES, E.; KORF, E. P. Monitoramento e controle da poluição atmosférica na cidade de Erechim - RS. In: Jornada de Iniciação Científica e Tecnológica, 8, 2018, Erechim, Anais.

PIENNAR, J. J.; BEUKES, J. P.; ZYL, P. G. V.; LEHMANN, C. M. B.; AHERNE, J. Comprehensive Analytical Chemistry. In: Forbes, P. B. C. **Passive Diffusion Sampling Devices for Monitoring Ambient Air Concentrations**, Amsterdam: Elsevier, 2015, p.13-52.

PORFIRIO, M. **Proposta metodológica para o monitoramento de gases poluentes derivados de veículos automotores em centros urbanos.** 2008. 133f. Dissertação (Mestrado em Transportes Urbanos) - Faculdade de tecnologia, UnB, Distrito Federal.

SOUZA, P. A. F.; FRANCISCO, K. C. A.; CARDOSO, A. A. Desenvolvimento de amostrador passivo sensível para monitoramento de poluição atmosférica por dióxido de nitrogênio. **Química Nova**, v.40, p.1233-1237, 2017.

VIERA, L. C. **Uso de amostradores passivos para o monitoramento do ar**. 2012. 62f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia e Arquitetura, UPF, Passo Fundo.

WHO. **Evolution of WHO air guidelines**: past, present and future. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, p.32, 2007.

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA - Técnico em Química pelo Colégio Profissional de Uberlândia (2008), Bacharel em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2010), Licenciado em Química pela Universidade de Uberaba (2011), em Ciências Biológicas (2021) e em Física (2022) pela Faculdade Única. Especialista em Metodologia do Ensino de Química e em Ensino Superior pela Faculdade JK Serrana em Brasília (2012), especialista em Ensino de Ciências e Matemática pelo Instituto Federal do Triângulo Mineiro (2021), especialista em Ciências Naturais e Mercado de Trabalho (2022) pela Universidade Federal do Piauí (UFPI). Mestre em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2015), com ênfase no desenvolvimento de um bioadsorvente para remoção de íons As(V), Sb(III) e Se(IV) em diferentes matrizes aquáticas. Doutorado em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2018), com ênfase em Processos Oxidativos Avançados [fotocatálise heterogênea (TiO_2/UV-A e TiO_2/Solar, H_2O_2/UV-C) para remoção de contaminantes de preocupação emergente (CPE) em diferentes matrizes aquáticas. Realizou o primeiro estágio de Pós-Doutorado (de maio de 2020 a abril de 2022) na Universidade Federal de Uberlândia com ênfase na aplicação de novos agentes oxidantes utilizando radiação solar para remoção de CPE em efluentes de uma estação de tratamento de esgoto. Atualmente está realizando o segundo Estágio Pós-Doutorado (abril de 2022 - atual) na UFU na mesma linha de pesquisa. Atuou como Técnico de Laboratório/ Química no Instituto Federal de Goiás (junho/2010 – janeiro/2022) durante 11 anos como técnico químico no Instituto Federal de Goiás, tendo sido responsável pela análise de parâmetros físico-químicos e biológicos de água e efluentes de estação de tratamento Atualmente, vem atuando nas seguintes linhas de pesquisa: (*i*) Desenvolvimento de novas metodologias para tratamento e recuperação de resíduos químicos gerados em laboratórios de instituições de ensino e pesquisa; (*ii*) estudos de acompanhamento do CPE; (*iii*) Desenvolvimento de novas tecnologias avançadas para remoção de CPE em diferentes matrizes aquáticas; (*iv*) Aplicação de processos oxidativos avançados (H_2O_2/UV C, TiO_2/UV-A e foto-Fenton e outros) para remoção de CPE em efluentes de estação de tratamento de efluentes para reuso; (*v*) Estudo e desenvolvimento de novos bioadsorventes para remediação ambiental de CPE em diferentes matrizes aquáticas; (*vi*) Educação Ambiental e; (*vii*) alfabetização científica e processos de alfabetização na área de Ciências Naturais, especialmente biologia e química.

ÍNDICE REMISSIVO

A

B

C

D

E